SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 2847:2019

Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan

(ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)

ICS 91.080.40

BSN BADAN STANDARDISASI NASIONAL

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

© ACI 2014 – All rights reserved
© BSN 2019 untuk kepentingan adopsi standar © ACI menjadi SNI – Semua hak dilindungi

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

"This Standard is modified to ACI 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318M-14), Copyright American Concrete Institute, 38800 Country Club Drive, Farmington Hills, MI USA. Reprinted by permission of American Concrete Institute."

American Concrete Institute (ACI) has authorized the distribution of this translation of SNI 2847:2019, but recognizes that the translation has gone through a limited review process. ACI neither represents nor warrants that the translation is technically or linguistically accurate. Only the English edition as published and copyrighted by ACI shall be considered the official version. Reproduction of this translation, without ACI's written permission is strictly forbidden under U.S. and international copyright laws.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Daftar isi

Daftar isi i
Daftar gambar vi
Daftar tabel xi
Prakata xv
Ruang lingkup 1
1.1 1
1.2 - Umum 1
1.3 - Tujuan 2
1.4 - Penerapan 2
1.5 - Interpretasi 4
1.6 - Pihak yang berwenang 6
1.7 - Perencana ahli bersertifikat 6
1.8 - Dokumen dan laporan perencanaan 6
1.9 - Pengujian dan pengawasan 7
1.10 - Persetujuan sistem khusus untuk desain, konstruksi atau material konstruksi alternatif 7
PASAL 2 – NOTASI DAN TERMINOLOGI 9
2.1 - Ruang lingkup 9
2.2 - Notasi 9
2.3 - Terminologi 32
PASAL 3 – STANDAR RUJUKAN 55
3.1 - Ruang lingkup 55
3.2 - Standar rujukan 55
PASAL 4 – PERSYARATAN SISTEM STRUKTUR 70
4.1 - Ruang lingkup 70
4.2 - Material 70
4.3 - Beban rencana 70
4.4 - Sistem struktur dan lintasan beban (*load path*) 70
4.5 - Analisis struktur 74
4.6 - Kekuatan 75
4.7 - Kemampuan layan 76
4.8 - Durabilitas 77
4.9 - *Sustainability* 77
4.10 - Integritas struktural 77
4.11 - Perlindungan terhadap kebakaran 78
4.12 - Persyaratan untuk konstruksi tipe khusus 78
4.13 - Konstruksi dan inspeksi 81
4.14 - Evaluasi kekuatan bangunan eksisting 81
PASAL 5 – BEBAN 82
5.1 - Ruang Lingkup 82
5.2 - Umum 82
5.3 - Faktor beban dan kombinasi beban 84
PASAL 6 – ANALISIS STRUKTUR 89
6.1 - Ruang Lingkup 89
6.2 - Umum 89
6.3 - Asumsi pemodelan 96

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

6.4 - Pengaturan beban hidup 98
6.5 - Metode pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang 99
6.6 - Analisis orde pertama 101
6.7 - Analisis elastis orde kedua 114
6.8 - Analisis inelastis orde kedua 116
6.9 - Penerimaan analisis elemen hingga 117

PASAL 7 - PELAT SATU ARAH 119
7.1 - Ruang lingkup 119
7.2 - Umum 119
7.3 - Batasan desain 119
7.4 - Kekuatan perlu 121
7.5 - Kekuatan desain 122
7.6 - Batasan tulangan 123
7.7 - Detail penulangan 126
8.1 - Ruang lingkup 131
8.2 - Umum 132
8.3 - Batasan desain 133
8.4 - Kekuatan perlu 136
8.5 - Kekuatan desain 143
8.6 - Batasan tulangan 145
8.7 - Pendetailan tulangan 149
8.8 - Sistem pelat berusuk dua arah nonprategang 161
8.9 - Konstruksi pelat angkat (*lift-slab*) 162
8.10 - Metode desain langsung 163
8.11 - Metode rangka ekuivalen 172

PASAL 9 – BALOK 178
9.1 - Ruang lingkup 178
9.2 - Umum 178
9.3 - Batas desain 180
9.4 - Kekuatan perlu 182
9.5 - Kekuatan rencana 185
9.6 - Batasan tulangan 188
9.7 - Pendetailan penulangan 194
9.8 - Sistem pelat berusuk satu arah nonprategang 206
9.9 - Balok tinggi 208

PASAL 10 – KOLOM 211
10.1 - Ruang lingkup 211
10.2 - Umum 211
10.3 - Batasan desain 211
10.4 - Kekuatan perlu 213
10.5 - Kekuatan desain 213
10.7 - Pendetailan tulangan 216

PASAL 11 – DINDING 224
11.1 - Ruang lingkup 224
11.2 – Umum 224
11.3 - Batasan Desain 226
11.4 Kekuatan perlu 226
11.5 - Kekuatan desain 228
11.6 - Batasan tulangan 232
11.8 - Metode alternatif untuk analisis dinding langsing tidak sebidang 235

PASAL 12 – DIAFRAGMA 239

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

12.1 - Ruang lingkup 239
12.2 - Umum 240
12.3 - Batasan desain 242
12.4 – Kekuatan perlu 243
12.5 - Kekuatan desain 247
12.6 - Batasan tulangan 256
12.7 - Pendetailan tulangan 256

PASAL 13 – FONDASI 259
13.1 - Ruang lingkup 259
13.2 - Umum 260
13.3 - Fondasi dangkal 265
13.4 - Fondasi dalam 267

PASAL 14 – BETON POLOS 269
14.1 – Ruang lingkup 269
14.2 - Umum 270
14.3 - Batasan desain 271
14.4 - Kekuatan perlu 273
14.4.1 *Umum* 273
14.5 - Kekuatan desain 275
14.6 - Pendetailan tulangan 278

PASAL 15 – *JOINT* BALOK-KOLOM DAN PELAT-KOLOM 279
15.1 – Ruang lingkup 279
15.2 – Umum 279
15.3 - Transfer gaya aksial kolom melalui sistem lantai 279
15.4 - Detail *joint* 280

PASAL 16 – SAMBUNGAN ANTAR KOMPONEN 282
16.1 – Ruang lingkup 282
16.2 – Sambungan komponen pracetak 282
16.3 - Sambungan ke fondasi 288
16.4 - Transfer geser horizontal pada komponen struktur lentur beton komposit 292
16.5 - *Bracket* dan korbel 295

PASAL 17 – PENGANGKURAN KE BETON 302
17.1 - Ruang lingkup 302
17.2 - Umum 303
17.3 - Persyaratan umum untuk kekuatan angkur 314
17.4 - Persyaratan desain untuk pembebanan tarik 321
17.5 - Persyaratan desain untuk pembebanan geser 339
17.5.1 *Kekuatan baja angkur dalam geser* 339
17.6 - Interaksi gaya tarik dan geser 352
17.7 – Persyaratan jarak tepi, spasi, dan tebal perlu untuk mencegah kegagalan belah (*splitting*) 353
17.8 - Pemasangan dan inspeksi angkur 355

PASAL 18 - STRUKTUR TAHAN GEMPA 359
18.1 - Ruang lingkup 359
18.2 - Umum 360
18.3 - Sistem rangka pemikul momen biasa 368
18.4 – Sistem rangka pemikul momen menengah 369
18.5 – Dinding struktural pracetak menengah 375
18.6 - Balok sistem rangka pemikul momen khusus 376
18.7 – Kolom sistem rangka pemikul momen khusus 384
18.8 – *Joint sistem rangka pemikul momen khusus* 392
18.9 – Sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak 398

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

18.10– Dinding struktural khusus 402
18.11– Dinding struktural khusus beton pracetak 417
18.12– Diafragma dan rangka batang 418
18.13- Fondasi 425
18.14- Komponen struktur yang tidak ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik 429

PASAL 19 – BETON: PERSYARATAN DESAIN DAN DURABILITAS 433
19.1 - Ruang lingkup 433
19.1.2 Pasal ini harus digunakan sebagai persyaratan durabilitas untuk beton *grout* yang digunakan untuk tendon terlekat sesuai dengan persyaratan pada 19.4. 433
19.2 - Properti desain beton 433
19.2.1.3 Bila tidak ditentukan lain maka f_c' harus diambil berdasarkan hasil pengujian 28 hari. Selain 28 hari, umur beton saat pengujian f_c' harus dituliskan pada dokumen konstruksi. 433
Dimana nilai λ diambil sesuai dengan 19.2.4 434
19.3 - Persyaratan durabilitas beton 435

PASAL 20 – PROPERTI BAJA TULANGAN, DURABILITAS, DAN PENANAMAN 444
20.1 - Ruang lingkup 444
20.2 - Batang dan kawat nonprategang 444
20.3 - *Strand*, kawat dan batang prategang 452
20.4 - Baja, pipa, dan tabung struktural untuk kolom komposit 457
20.5 - Tulangan *stud* geser berkepala 457
20.6 - Ketentuan durabilitas baja tulangan 458
20.7 - Penanaman 466

PASAL 21 – FAKTOR REDUKSI KEKUATAN 468
21.1 - Ruang lingkup 468
21.2 - Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan 468

PASAL 22 - KEKUATAN PENAMPANG 476
22.1 - Ruang lingkup 476
22.2 - Asumsi desain untuk kekuatan momen dan aksial 476
22.3 - Kekuatan lentur 479
22.4 - Kekuatan aksial atau kombinasi kekuatan lentur dan aksial 480
22.5 - Kekuatan geser satu arah 482
22.6 - Kekuatan geser dua arah 494
22.7 - Kekuatan torsi 507
22.8 – *Tumpu* 518
22.9 - Geser friksi 520

PASAL 23 – MODEL *STRUT AND TIE* 527
23.1 - Ruang lingkup 527
23.2 - Umum 528
23.3 - Kekuatan desain 534
23.4 - Kekuatan *strut* 534
23.5 - Tulangan yang melewati *strut* berbentuk botol 537
23.6 - Pendetailan tulangan *strut* 538
23.7 - Kekuatan *tie* 539
23.8 - Pendetailan tulangan *tie* 539
23.9 - Kekuatan zona nodal 541

PASAL 24 – PERSYARATAN KEMAMPUAN LAYAN 543
24.1 - Ruang lingkup 543
24.2 - Defleksi akibat beban gravitasi tingkat layan 543
24.3 - Distribusi tulangan lentur pada pelat satu arah dan balok 549
24.4 - Tulangan susut dan suhu 552

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

24.5 - Tegangan izin dalam komponen struktur lentur prategang 554

PASAL 25 - DETAIL PENULANGAN 559
25.1 - Ruang lingkup 559
25.2 - Spasi minimum penulangan 559
25.3 - Kait standar, kait seismik, ikat silang, dan diameter sisi dalam bengkokan minimum 560
25.4 - Panjang penyaluran 563
25.5 - Sambungan lewatan 584
25.6 - Bundel tulangan 592
25.7 - Tulangan transversal 594
25.8 - Angkur pascatarik dan kopler 605
25.9 - Daerah angkur untuk tendon pascatarik 606

PASAL 26 – DOKUMEN KONSTRUKSI DAN INSPEKSI 617
26.1 - Ruang lingkup 617
26.2 - Kriteria desain 619
26.3 - Informasi komponen struktur 620
26.4 - Persyaratan material dan pencampuran beton 620
26.5 - Produksi dan konstruksi beton 630
26.6 - Persyaratan material dan konstruksi tulangan 638
26.7 - Angkur beton 644
26.8 - Penanaman 645
26.9 - Persyaratan tambahan untuk beton pracetak 646
26.10 - Persyaratan tambahan untuk beton prategang 647
26.11 - Bekisting 650
26.12 - Evaluasi dan penerimaan beton 653
26.13 - Inspeksi 659

PASAL 27 – EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR EKSISTING 664
27.1 - Ruang lingkup 664
27.2 - Umum 664
27.3 - Evaluasi kekuatan dengan analisis 665
27.4 - Evaluasi kekuatan dengan uji beban 667
27.5 - Tingkat beban tereduksi 671

BIBLIOGRAFI/REFERENSI PENJELASAN 672

Lampiran A DAFTAR KESEPADANAN ISTILAH 693

Lampiran B DAFTAR DEVIASI TEKNIS SNI 2847 TERHADAP ACI 318M 695

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Daftar gambar

Gambar R2.1 – Tipe angkur 34
Gambar R2.2 – Orientasi angkur yang memungkinkan menghadap ke atas, cenderung ke atas, atau horizontal 34
Gambar R6.2.5 – Faktor panjang efektif, k 93
Gambar R6.2.6 – Diagram alir untuk penentuan pengaruh kelangsingan kolom 95
Gambar R.6.6.5 ─ Redistribusi momen yang diizinkan untuk kapasitas rotasi minimum .. 114
Gambar R7.6.4.2 – Potongan penampang balok yang dicor monolit dengan pelat 126
Gambar R7.7.6.3.2 – Tampak atas pelat tepi menunjukkan tulangan tambahan untuk susut dan suhu 130
Gambar R8.4.1.8 – Contoh bagian pelat yang dimasukkan ke balok sesuai 8.4.1.8. 138
Gambar R8.4.2.3 – Asumsi distribusi tegangan geser 143
Gambar R8.6.1.1 – Pengaturan tulangan minimum dekat bagian atas pelat dua arah 146
Gambar R8.7.3.1 – Tulangan pelat sudut 150
Gambar 8.7.4.1.3a – Panjang penyaluran minimum tulangan ulir pada pelat dua-arah tanpa balok 152
Gambar R8.7.4.1.3b – Retak geser *punching* pada pelat dengan penyaluran tulangan sesuai 8.7.4.1.3a 153
Gambar R.8.7.6(a)-(c) – Sengkang satu- atau banyak- kaki - tipe pelat tulangan geser ... 157
Gambar R8.7.6d – Pengaturan tulangan sengkang geser kolom interior 158
Gambar R8.7.6e – Pengaturan tulangan sengkang geser kolom tepi 158
Gambar R8.7.7 – Tipikal pengaturan tulangan *stud* geser berkepala dan penampang kritis 160
Gambar R8.10.1.3 – Contoh penampang bujursangkar ekuivalen untuk komponen struktur tumpuan 164
Gambar 8.10.8.1 – Luas tributari untuk geser balok interior 172
Gambar R8.11.2 – Definisi rangka ekuivalen 174
Gambar R8.11.4 – Kolom ekuivalen (kolom ditambah komponen struktur torsi) 175
Gambar R8.11.5 – Distribusi momen torsi sepanjang sumbu kolom AA pada gambar R8.11.4 176
Gambar R9.4.3.2a – Diagram *free body* dari ujung sebuah balok 184
Gambar R9.4.3.2b – Lokasi penampang kritis untuk geser pada sebuah balok yang dibebani dekat bawah balok 184
Gambar R9.4.3.2(c), (d), (e), (f) – Tipikal kondisi-kondisi tumpuan untuk menentukan lokasi gaya geser terfaktor V_u 184
Gambar R9.7.2.3 – Tulangan longitudinal samping (*skin reinforcement*) untuk balok dan pelat berusuk dengan h > 900 mm 195
Gambar R9.7.3.2 – Penyaluran tulangan lentur dalam balok menerus yang tipikal 196

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Gambar R9.7.7.1 – Contoh dari sengkang terdiri atas dua bagian yang memenuhi persyaratan 9.7.7.1c) dan 9.7.7.2b) 205
Gambar R10.4.2.1 Kombinasi beban kritis kolom 213
Gambar R10.7.5.1.3 – *Offset* tulangan kolom 218
Gambar R10.7.5.2 ─ Persyaratan sambungan lewatan untuk kolom 218
Gambar R10.7.5.2.1 – Contoh aplikasi dari 10.7.5.2.1(a) 219
Gambar R11.4.1.3 – Gaya sebidang dan tak sebidang 227
Gambar R11.5.3.1 – Desain dinding sederhana, Pers. 11.5.3.1 versus 11.5.2 229
Gambar R13.1.1 Tipe – tipe fondasi 260
Gambar R13.2.7.2 – Modifikasi keliling kritis untuk geser dengan keliling kritis yang saling tumpang tindih 264
Gambar R16.2.5 – Pengaturan tipikal pengikat integritas dalam struktur panel besar 286
Gambar R16.2.6 – Panjang landasan pada tumpuan 288
Gambar R16.5.1a – Aksi struktural korbel 296
Gambar R16.5.1b – Notasi yang digunakan dalam 18.3 296
Gambar R16.5.6.3a - Komponen struktur yang sangat tergantung pada pengangkuran di tumpuan dan di ujung 300
Gambar R16.5.6.3b – Detail las yang digunakan dalam pengujian oleh Mattock et al. (1976a) 301
Gambar R17.3.1 – Jenis-jenis mode kegagalan angkur 316
Gambar R17.3.2a – Kerucut jebol (*breakout cone*) untuk kondisi tarik 317
Gambar R17.3.2b – Kerucut jebol (*breakout cone*) untuk kondisi geser 318
Gambar R17.4.2.1 – (a) Perhitungan A_{Nco} dan (b) perhitungan A_{Nc} untuk satu angkur dan kelompok angkur 323
Gambar R17.4.2.3 – Contoh kondisi tarik dimana angkur berada pada komponen yang sempit 326
Gambar R17.4.2.4 – Pengertian eN' untuk kelompok angkur 327
Gambar R17.4.2.9 – Tulangan angkur dalam tarik 330
Gambar R17.4.5.1 – Perhitungan daerah pengaruh A_{Nao} dan A_{Na} 334
Gambar R17.5.2.1a – Perhitungan A_{Vco} 342
Gambar R17.5.2.1b – Perhitungan A_{Vc} untuk angkur tunggal dan kelompok angkur 343
Gambar R17.5.2.1c – Gaya geser sejajar dengan sisi tepi 344
Gambar R17.5.2.1d – Gaya geser dekat sudut 344
Gambar R17.5.2.4 – Contoh gaya geser dimana angkur berada pada komponen yang sempit dan tebal yang terbatas 347
Gambar R17.5.2.5 – Definisi e'_V untuk kelompok angkur 347
Gambar R17.5.2.9a – Tulangan angkur *hairpin* untuk gaya geser 350
Gambar R17.5.2.9b – Tulangan tepi dan tulangan angkur dalam kondisi geser 351
Gambar R17.6 – Persamaan interaksi beban geser dan tarik 352
Gambar R18.4.2 – Geser desain untuk rangka momen menengah 371

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Gambar R18.10.4.5 – Dinding dengan bukaan 405
Gambar R18.10.6.4.1 – Panjang penyaluran tulangan horizontal dinding dalam elemen batas yang terkekang 410
Gambar R18.10.6.4.2 – Rangkuman persyaratan elemen batas pada dinding khusus 411
Gambar R20.5.1 – Konfigurasi kepala *stud* 458
Gambar R20.6.1.3.5 – Persyaratan selimut beton untuk tulangan *stud* geser berkepala . 463
Gambar R21.2.2a – Distribusi tegangan dan regangan tarik netto pada penampang nonprategang 472
Gambar R21.2.2b – Variasi nilai ϕ regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh, ε_t ... 472
Gambar R21.2.3a – Variasi nilai ϕ dengan jarak dari ujung bebas strand dalam komponen struktur pratarik dengan *strand* lekatan penuh 473
Gambar R21.2.3b – Variasi nilai ϕ dengan jarak dari ujung bebas *strand* dalam komponen struktur pratarik dengan *strand* tanpa lekatan (*unbonded*) 474
Gambar R22.5.6.1 – Perbandingan persamaan kekuatan geser dari komponen yang menerima beban aksial 486
Gambar R22.5.8.2 – Penerapan Tabel 22.5.8.2 terhadap komponen prategang yang menerima beban merata dengan f_c' = 35 MPa 488
Gambar R22.5.8.3 – Jenis retak pada balok 489
Gambar R22.6.4.2a – Penampang kritis geser dua arah dalam pelat dengan tulangan geser pada kolom interior 497
Gambar R22.6.4.2b – Penampang kritis untuk geser dua arah pada pelat dengan tulangan geser pada kolom tepi 497
Gambar R22.6.4.2c – Penampang kritis untuk geser dua arah pada pelat dengan tulangan geser pada kolom sudut 498
Gambar R22.6.4.3 – Pengaruh bukaan dan sudut bebas (keliling efektif digambarkan dengan garis putus-putus) 498
Gambar R22.6.5.2 – Nilai β dari daerah pembebanan nonpersegi panjang 500
Gambar R22.6.9.6 – Gambaran gaya geser ideal pada kepala geser 505
Gambar R22.6.9.8 – Lokasi penampang kritis yang didefinisikan 22.6.9.8 506
Gambar 22.7 – (a) *Tube* dinding tipis; (b) luasan yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser 509
Gambar R22.7.3a – Torsi keseimbangan, momen torsi desain yang tidak dapat dikurangi (Pasal 22.7.3.1). 511
Gambar R22.7.3b –Torsi kompatibilitas, momen torsi desain yang dapat dikurangi (22.7.3.2) 511
Gambar R22.7.6.1a – Analogi rangka batang (*truss*) ruang 515
Gambar R22.7.6.1b – Resolusi gaya geser V_i menjadi gaya tekan diagonal D_i dan gaya tarik aksial N_i dalam satu dinding *tube* 515
Gambar R22.7.6.1.1 – Definisi A_{oh} seperti yang ditunjukkan 515
Gambar R22.7.7.1 – Penambahan tegangan geser dan torsi 517

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Gambar R22.8.3.2 – Penggunaan frustum untuk menemukan nilai A_2 dalam tumpuan bertelapak 520
Gambar R22.9.4.3a–Tekan pada tulangan 524
Gambar R22.9.4.3b – Tekan pada tulangan 524
Gambar R23.1 – Daerah D dan diskontinuitas 528
Gambar R23.2.1 – Deskripsi model *strut-and-tie* 530
Gambar R23.2.2 – Resolusi gaya pada zona nodal 531
Gambar R23.2.6a – Nodal hidrostatik 533
Gambar R23.2.6b – Zona nodal yang diteruskan menunjukkan efek distribusi gaya 533
Gambar R23.2.6c – Klasifikasi nodal 534
Gambar R23.4.3 – *Strut* berbentuk botol: (a) retakan dari *strut* berbentuk botol; dan (b) model *strut* dan *tie* berbentuk botol 536
Gambar R23.5.3 – Tulangan melewati sebuah *strut* 538
Gambar. R23.8.2 – Zona perpanjangan nodal menjangkar dua *tie* 541
Gambar R24.2.4.1 – Faktor pengali untuk lendutan jangka panjang 548
Gambar R25.3.5 – Ikat silang 563
Gambar R25.4.3.2a – Sengkang ikat atau sengkang dipasang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan, sepanjang panjang penyaluran ℓ_{dh}. 570
Gambar R25.4.3.2b – Sengkang ikat atau sengkang dipasang sejajar terhadap tulangan yang disalurkan, sepanjang ekor perpanjangan kait ditambah bengkokan. 570
Gambar R25.4.3.3 – Selimut beton sesuai 25.4.3.3 571
Gambar R25.4.4.2a – Penyaluran batang ulir berkepala 574
Gambar R25.4.4.2b – Batang ulir berkepala yang diteruskan ke sisi terjauh kolom inti dengan panjang pengangkuran melebihi l_{dt} 575
Gambar R25.4.4.2c – Kegagalan jebol yang dicegah pada *joint* dengan menjaga panjang penyaluran lebih besar atau sama dengan d/1,5 575
Gambar R25.4.4.2d – Kegagalan jebol yang dicegah pada *joint* dengan memberikan tulangan transversal untuk mengaktifkan mekanisme *strut-and-tie* 576
Gambar R25.4.4.2e – Kegagalan jebol tidak terhalang. Ketentuan Pasal 17 berlaku 576
Gambar R25.4.6.3 – Penyaluran jaring kawat ulir las 578
Gambar R25.4.7.2 – Penyaluran jaring kawat polos las 579
Gambar R25.4.8.3 – Idealisasi hubungan bilinear antara tegangan baja dan jarak dari ujung bebas *strand* 582
Gambar R25.5.2.1 – Spasi bersih tulangan sambungan lewatan untuk menentukan nilai ℓ_d untuk sambungan lewatan selang-seling *(staggered)* 586
Gambar R25.5.3.1 – Sambungan lewatan pada jaring kawat ulir las 587
Gambar R25.5.4.1 – Sambungan lewatan jaring kawat polos las bila 588
Gambar R25.5.4.2 – Sambungan lewatan jaring kawat polos las bila 589
Gambar R25.7.1.4 – Angkur pada daerah serat tekan dengan jaring kawat polos las pada sengkang-U 595

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Gambar R25.7.1.5 – Angkur pada kawat yang di las dengan kaki tunggal untuk geser ... 597
Gambar R25.7.1.6 – *Spalling* pada sudut balok akibat torsi ... 598
Gambar R25.7.1.7 – Konfigurasi sengkang tertutup ... 599
Gambar R25.7.2.3a – Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi 600
Gambar R25.7.2.3b – Pengangkuran sengkang lingkaran menerus ... 601
Gambar R25.7.2.4 – Pengangkuran sengkang ikat lingkaran ... 602
Gambar R25.7.3.4 – Pengangkuran spiral ... 603
Gambar R25.9.1.1a – Daerah lokal dan daerah umum ... 606
Gambar R25.9.1.1b – Daerah umum untuk angkur yang ditempatkan jauh dari ujung komponen struktur ... 607
Gambar R25.9.4 – Daerah tegangan tarik dalam daerah umum ... 609
Gambar R25.9.4.1 – Dimensi daerah umum pada pelat pascatarik ... 609
Gambar R25.9.4.3.1 – Notasi yang digunakan dalam daerah umum ... 611
Gambar R25.9.4.4.2 – Pengaruh perubahan bentuk penampang balok ... 612
Gambar R25.9.4.4.6 – Penulangan daerah angkur untuk kelompok angkur tendon diameter 12,7 mm atau lebih kecil di pelat ... 614

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Daftar tabel

Tabel 4.10.2.1 – Persyaratan minimum untuk integritas structural 78
Tabel R5.2.2 – Korelasi terminologi seismik dalam model *code*..... 83
Tabel 5.3.1 – Kombinasi beban 84
Tabel 6.3.2.1 ─ Batasan dimensi lebar sayap efektif untuk Balok-T 97
Tabel 6.5.2 ─ Momen pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang 100
Tabel 6.5.4 ─ Geser pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang 100
Tabel 6.6.3.1.1(a) ─ Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor 103
Tabel 6.6.3.1.1(b) ─ Momen inersia alternatif untuk analisis elastis pada level beban terfaktor 103
Tabel 7.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang 120
Tabel 7.6.1.1 – $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang 123
Tabel 8.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)[1] 134
Tabel 8.3.1.2 – Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya 134
Tabel 8.4.2.3.4 – Nilai termodifikasi maksimum γ_f untuk pelat dua arah nonprategang 139
Tabel 8.6.1.1 – $A_{s,min}$ untuk pelat dua arah nonprategang 145
Tabel 8.6.2.3 – Tulangan ulir longitudinal terlekat $A_{s,min,}$ pada pelat dua arah dengan tendon terlekat atau tanpa lekatan..... 147
Tabel 8.7.6.3 – Batas lokasi dan spasi sengkang pertama 156
160
Tabel 8.7.7.1.2 – Batas lokasi dan spasi *stud* geser..... 160
Tabel 8.10.4.2 – Koefisien distribusi untuk bentang ujung 166
Tabel 8.10.5.1 – Bagian momen negatif interior M_u di lajur kolom 167
Tabel 8.10.5.2 – Bagian momen negatif eksterior M_u di lajur kolom..... 168
Tabel 8.10.5.5 – Bagian momen positif M_u di lajur kolom 168
Tabel 8.10.5.7.1 – Bagian momen lajur kolom M_u pada balok..... 169
Tabel 8.10.8.1 – Bagian geser yang ditahan oleh balok..... 171
Tabel 9.3.1.1 – Tinggi minimum balok nonprategang..... 180
Tabel 9.6.3.1 ─ Kasus dimana $A_{v,min}$ tidak diperlukan jika $0{,}5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$ 190
Tabel 9.6.3.3 – Kebutuhan $A_{v,min}$..... 192
Tabel 9.7.6.2.2 – Spasi maksimum tulangan geser..... 202
Tabel 10.7.5.2.2 – Kelas sambungan lewatan Tarik..... 219

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Tabel 10.7.6.3.2 – Persyaratan perpanjangan sengkang spiral di bagian atas kolom 222
Tabel 10.7.6.5.2 – Persyaratan spasi maksimum tulangan geser 223
Tabel 11.3.1.1 – Tebal minimum dinding h 226
Tabel 11.5.3.2 – Faktor panjang efektif k untuk dinding 229
Tabel 11.5.4.6 – V_c: Dinding prategang dan nonprategang 231
Tabel 11.6.1 – Tulangan minimum untuk dinding dengan geser sebidang $V_u \leq 0{,}5\phi V_c$ 233
Tabel 11.8.4.1- Perhitungan Δ_s 237
Tabel 13.2.7.1 – Lokasi penampang kritis untuk M_u 263
Tabel 14.3.3.1 – Tebal minimum dinding penumpu 271
Tabel 14.4.3.2.1 – Lokasi penampang kritis untuk M_u 274
Tabel 14.5.4.1 – Kombinasi lentur dan tekan aksial 277
Tabel 14.5.5.1 – Kekuatan geser nominal 277
Tabel 14.5.6.1 – Kekuatan tumpu nominal 278
Tabel 16.2.6.2 – Dimensi desain minimum dari muka tumpuan ke ujung komponen pracetak 287
Tabel 16.4.4.2 – Kekuatan geser horizontal nominal 293
Tabel 17.3.1.1 – Kekuatan perlu angkur, kecuali seperti tercatat dalam 17.2.3 315
Tabel 17.4.5.2 – Tegangan lekatan karakteristik minimum[1][2] 335
Tabel 19.2.1.1 – Batasan nilai f_c' 433
Tabel 19.2.4.2 – Faktor modifikasi λ 435
Tabel 19.3.1.1 – Kategori dan kelas paparan 437
Tabel 19.3.2.1 – Persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan 442
Tabel 20.2.2.4a – Tulangan ulir nonprategang 450
Tabel 20.2.2.4b – Tulangan spiral polos nonprategang 451
Tabel 20.3.2.2 – *Strand*, kawat, dan batang tulangan prategang 453
Tabel 20.3.2.3.1 – Nilai dari γ_p untuk digunakan pada Pers. 20.3.2.3.1 454
Tabel R20.3.2.3.1 – Rasio f_{py}/f_{pu} dan hubungannya dengan tipe tulangan 454
Tabel 20.3.2.4.1 – Nilai pendekatan f_{ps} pada kekuatan lentur nominal untuk tendon tanpa lekatan 455
Tabel 20.3.2.5.1 – Tegangan tarik izin maksimum tulangan prategang 455
Tabel 20.6.1.3.1 – Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat 460
Tabel 20.6.1.3.2 Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton prategang yang dicor di tempat 461
Tabel 20.6.1.3.3 – Ketebalan selimut beton untuk beton pracetak nonprategang dan prategang yang diproduksi pada kondisi pabrik 462
Tabel 20.6.2.1 – Tulangan nonprategang di*coating* 464
Tabel 21.2.1 – Faktor reduksi kekuatan (ϕ) 469

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Tabel 21.2.2 – Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial 471
Tabel 21.2.3 – Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk seksi akhir dari prategang 472
Tabel 22.2.2.4.3 – Nilai β_1 untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen 478
Tabel 22.4.2.1 – Kekuatan aksial maksimum 481
Tabel 22.5.5.1 – Metode detail untuk menghitung V_c 486
Tabel 22.5.6.1 – Metode detail untuk menghitung V_c untuk komponen nonprategang yang menerima beban tekan aksial 486
Tabel 22.5.8.2 – Metode Pendekatan untuk menghitung V_c 487
Tabel 22.6.5.2 – Perhitungan v_c untuk geser dua arah 499
Tabel 22.6.6.1 – Nilai v_c maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser ... 501
Tabel 22.6.6.2 – Nilai v_u maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser .. 502
Tabel 22.7.4.1(a) – Ambang batas torsi untuk penampang solid 512
Tabel 22.7.4.1(b) – Ambang batas torsi untuk penampang berongga 512
Tabel 22.7.5.1 – Retak torsi 513
Tabel 22.8.3.2 – Kekuatan tumpu nominal 518
Tabel 22.9.4.2 – Koefisien friksi 522
Tabel 22.9.4.4 – Nilai V_n maksimum pada asumsi bidang geser 525
Tabel 23.4.3 – Koefisien *strut* β_s 535
Tabel 23.9.2 – Koefisien zona nodal β_n 541
Tabel 24.2.2 – Perhitungan lendutan izin maksimum 544
Tabel 24.2.4.1.3 – Faktor pengaruh waktu untuk beban tetap 547
Tabel 24.3.2 – Spasi maksimum tulangan terlekat pada pelat satu arah dan balok nonprategang dan prategang kelas C 550
Tabel 24.4.3.2 – Rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum terhadap luas penampang beton bruto 553
Tabel 24.5.2.1 – Klasifikasi komponen lentur prategang berdasarkan f_t 555
Tabel R24.5.2.1 – Persyaratan kemampuan layan 556
Tabel 24.5.3.1 – Batasan tegangan tekan beton sesaat setelah transfer gaya prategang 557
Tabel 24.5.3.2 – Batasan tegangan tarik beton sesaat setelah transfer gaya prategang, tanpa penambahan tulangan terlekat di dearah tarik 557
Tabel 24.5.4.1 – Batasan tegangan tekan beton saat beban layan 558
Tabel 25.2.4 – Spasi minimum antar sumbu ke sumbu *strand* pratarik pada ujung komponen struktur 560
Tabel 25.3.1 – Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi Tarik 561
Tabel 25.3.2 – Diameter sisi dalam bengkokan minimum dan geometri kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekang 562
Tabel 25.4.2.2 – Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik 566
Tabel 25.4.2.4 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik 568

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Tabel 25.4.3.2 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang dengan kait dalam kondisi Tarik 570
Tabel 25.4.9.3 – Faktor modifikasi batang ulir dan kawat dalam kondisi tekan..... 583
Tabel 25.5.2.1 – Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik 586
Tabel 25.7.3.6 – Panjang lewatan untuk tulangan spiral 604
Tabel 25.9.4.5.1 – Tegangan tarik desain maksimum di tulangan..... 615
Tabel 26.4.1.1.1(a) – Spesifikasi untuk material sementisius..... 620
Tabel 26.4.2.2(b) – Batas material sementisius untuk campuran beton 626
Tabel 26.4.2.2(c) – Persyaratan untuk kombinasi material sementisius yang terpapar terhadap sulfat..... 627
Tabel 26.6.2.1(a) – Toleransi d dan persyaratan selimut..... 639
Tabel 26.6.2.1(b) – Toleransi untuk lokasi ujung dan bengkokan longitudinal tulangan ... 640
Tabel 27.3.2.1 – Faktor reduksi kekuatan maksimum yang diizinkan..... 667

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847:2019 dengan judul *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan* adalah revisi dari SNI 2847:2013 *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung* yang mengadopsi secara modifikasi dari *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318M-14) *and Commentary* (ACI 318RM-14). Standar ini digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung, atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur bangunan gedung.

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini dipersiapkan oleh Komite Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil (91-01) melalui Gugus Kerja Bahan Bangunan pada Subkomite Teknis Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan (91-01-S4). Tata cara penulisan disusun mengikuti PKBSN Nomor 4 Tahun 2016 tentang Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia (SNI), yang telah dibahas dalam forum Rapat Konsensus pada tanggal 18 Desember 2018 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman. Forum rapat konsensus ini dihadiri oleh wakil dari produsen, konsumen, asosiasi, lembaga penelitian, perguruan tinggi dan instansi pemerintah terkait.

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 30 Agustus 2019 sampai dengan 29 Oktober 2019, dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Apabila pengguna menemukan keraguan dalam standar ini maka disarankan untuk melihat standar aslinya yaitu *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318M-14) *and Commentary* (ACI 318RM-14) dan atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen dimaksud, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 1 – KETENTUAN UMUM

1.1 - Ruang lingkup

1.1.1 Pasal ini membahas a) hingga h):

a) Persyaratan umum standar ini
b) Tujuan standar ini
c) Penggunaan standar ini
d) Interpretasi standar ini
e) Definisi dan aturan bagi pihak yang berwenang dan perencana ahli bersertifikat
f) Dokumen konstruksi
g) Pengujian dan inspeksi
h) Persetujuan sistem khusus untuk perencanaan, konstruksi atau material konstruksi alternatif pada sistem khusus

R1.1 - Ruang lingkup

R1.1.1 Standar meliputi ketentuan-ketentuan untuk perancangan beton struktural termasuk beton polos, beton dengan penulangan nonprategang, prategang atau keduanya, kolom komposit dengan profil baja struktural, pipa atau selubung dan pengangkuran ke beton.

Standar ini merupakan pengaturan ulang secara substansial pasal-pasal SNI 2847. Pasal ini terdiri dari beberapa ketentuan yang menjelaskan bagaimana penggunaan standar ini dan bagaimana menerjemahkan maksudnya.

1.2 - Umum

1.2.1 SNI 2847, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung selanjutnya dalam dokumen ini disebut sebagai standar.

R1.2 - Umum

1.2.2 Dalam standar ini, peraturan umum gedung mengacu pada standar-standar terkait dengan gedung yang diberlakukan di Indonesia. Bila diadopsi, standar ini merupakan bagian dari peraturan umum gedung tersebut.

R.1.2.2 Badan Standardisasi Nasional (BSN) merekomendasikan standar ini digunakan secara keseluruhan.

1.2.3 Versi resmi standar ini menggunakan Bahasa Indonesia, satuan SI dan diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN).

1.2.4 Pasal ini tidak relevan untuk Indonesia

1.2.5 Standar ini mengatur persyaratan minimum untuk desain, konstruksi dan evaluasi kekuatan komponen dan sistem struktur beton pada setiap struktur yang direncanakan dan dibangun sesuai persyaratan peraturan umum gedung.

R1.2.5 Standar ini mengatur persyaratan minimum dan melebihi persyaratan minimum dalam standar ini bukanlah pelanggaran.

Perencana ahli bersertifikat boleh menentukan proyek mana yang melebihi persyaratan minimum dalam standar ini.

1.2.6 Modifikasi terhadap standar ini yang diadopsi dan menjadi bagian dari ketentuan-ketentuan yang diberlakukan oleh pihak yang berwenang tertentu, bukan merupakan bagian dari standar ini.

1.2.7 Jika tidak ada peraturan umum

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
gedung yang diadopsi, standar ini mengatur persyaratan-persyaratan minimum untuk material, desain, konstruksi, dan evaluasi kekuatan komponen dan sistem struktur untuk setiap bangunan yang termasuk dalam lingkup standar ini.	
1.3 - Tujuan	**R1.3 - Tujuan**
1.3.1 Tujuan standar ini adalah untuk menjamin keselamatan dan kesehatan umum dengan menetapkan persyaratan-persyaratan minimum untuk kekuatan, stabilitas, kemampuan layan, durabilitas dan integritas struktur beton.	**R1.3.1** Standar ini menyediakan sarana untuk menetapkan persyaratan-persyaratan minimum untuk desain dan konstruksi beton struktural, begitu juga untuk kriteria penerimaan desain dan konstruksi beton struktural bagi pihak yang berwenang atau perwakilannya yang ditunjuk. Standar ini tidak memberikan penjelasan/pernyataan menyeluruh terkait semua kewajiban dari semua pihak dalam kontrak atau semua persyaratan dalam kontrak untuk proyek yang dibangun sesuai dengan standar ini.
1.3.2 Standar ini tidak mengakomodasi semua aspek dalam desain.	**R1.3.2** Persyaratan-persyaratan minimum dalam standar ini tidak menggantikan pendapat ahli atau pengetahuan perencana ahli bersertifikat terhadap faktor-faktor tertentu dalam proyek, desain, lokasi, dan hal lainnya atau lingkungan yang tidak biasa dalam suatu proyek.
1.3.3 Peralatan dan metode konstruksi tidak diatur dalam standar ini.	
1.4 - Penerapan	**R1.4 - Penerapan**
1.4.1 Standar ini berlaku untuk struktur beton yang didesain dan dibangun sesuai dengan persyaratan peraturan umum gedung.	
1.4.2 Ketentuan-ketentuan yang sesuai dalam standar ini diizinkan untuk digunakan pada struktur-struktur yang tidak diatur oleh peraturan umum gedung.	**R1.4.2** Struktur-struktur seperti struktur pelengkung, *bin*, silo, struktur tahan ledakan, cerobong, struktur utilitas bawah tanah, dinding penumpu, dinding pelindung yang termasuk dalam persyaratan desain dan konstruksi yang tidak diatur secara spesifik dalam standar ini. Banyak peraturan dan standar yang memberikan persyaratan, seperti kualitas beton dan prinsip desain yang dapat digunakan untuk struktur tersebut. Rekomendasi untuk desain dan konstruksi untuk struktur-struktur tersebut antara lain:

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	• "*Code Requirements for Reinforced concrete Chimneys and Commentary*" (ACI 307-08) • "*Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials*" (ACI 313-97) • "*Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary*" (ACI 349) • "*Code for Concrete Containments*" (ACI 359)
1.4.3 Desain struktur beton cangkang tipis dan pelat lipat (*folded plate)* harus sesuai *ACI 318.2*, "*Building Code Requirements for Concrete Thin Shells*".	
1.4.4 Standar ini berlaku untuk desain *slabs cast on stay in place*, dek baja non-komposit.	**R1.4.4** Dalam aplikasinya yang paling mendasar, dek baja nonkomposit berfungsi sebagai cetakan, dan pelat beton didesain untuk memikul semua beban, sementara di penggunaan lain pelat beton mungkin didesain untuk hanya memikul beban superimpose. Desain dek baja dalam aplikasi yang menahan beban diatur dalam "*Standard for non-composite steel floor deck*" (SDI NC). SDI mengacu pada standar ini untuk desain dan konstruksi pelat beton struktural.
1.4.5 Untuk hunian satu dan dua keluarga, kelompok hunian tunggal, *townhouses* dan struktur pelengkapnya, desain dan konstruksi fondasi telapak cor di tempat, dinding fondasi, pelat lantai di atas tanah diizinkan untuk didesain sesuai persyaratan ACI 332.	**R1.4.5** ACI 332 hanya ditujukan untuk desain dan konstruksi fondasi telapak, fondasi dinding yang ditumpu fondasi menerus dan pelat di atas tanah untuk penggunaan konstruksi tempat tinggal terbatas. Beberapa rumah keluarga tunggal termasuk struktur seperti *townhomes*.
1.4.6 Standar ini tidak berlaku untuk desain dan pemasangan fondasi tiang beton, pilar bor dan kaison (*caissons)* yang ditanam dalam tanah, kecuali ditentukan dalam: a) Untuk bagian di atas permukaan tanah atau air, atau di tanah yang tidak mampu memberikan tahanan lateral yang memadai untuk menahan tekuk sepanjang bentangnya b) Untuk struktur yang direncanakan sebagai Kategori Desain Seismik D, E dan F	**R1.4.6** Desain dan pemasangan tiang fondasi yang tertanam penuh di dalam tanah diatur dalam standar bangunan umum. Rekomendasi untuk tiang fondasi diatur dalam ACI 543R. Rekomendasi untuk tiang bor diatur dalam ACI 336.3R. Rekomendasi untuk tiang beton prategang diatur dalam "*Recommended Practice for Design, Manufacture, and Installation of Presstressed Concrete Piling*" (PCI 1993). Acu 18.13.4 untuk persyaratan tambahan untuk tiang beton, tiang bor dan kaison pada struktur yang direncanakan pada Kategori Desain Seismik D, E dan F.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
1.4.7 Standar ini tidak berlaku untuk desain pelat di atas tanah, kecuali pelat tersebut menyalurkan beban vertikal dan gaya lateral dari bagian lain struktur ke tanah.	**R1.4.7** Rekomendasi detail untuk desain dan konstruksi pelat di atas tanah dan lantai yang tidak menyalurkan beban vertikal atau gaya lateral dari struktur lainnya ke tanah dan pelat di atas tanah pascatarik untuk perumahan, diatur dalam publikasi berikut ini: • ACI 360R menampilkan informasi desain pelat di atas tanah, lantai primer bangunan industri dan pelat yang berdekatan. Laporan ini membahas perencanaan, desain, dan pendetailan pelat. Informasi latar belakang pada teori desain diikuti oleh pembahasan tentang sistem pendukung tanah, pembebanan, dan tipe pelat. Metode desain diberikan untuk beton polos struktural, beton bertulang, beton terkompensasi susut (*shrinkage-compensating concrete),* dan pelat beton pascatarik. • *The Post-Tensioning Institute* (DC 10.5-12) menyediakan standar persyaratan untuk pelat lantai di atas tanah pascatarik, investigasi tanah, desain dan analisis rumah tinggal pascatarik and pelat bangunan komersil ringan pada tanah ekspansif.
1.4.8 Standar ini tidak berlaku untuk desain dan konstruksi tangki dan reservoir.	**R1.4.8** Persyaratan dan rekomendasi untuk desain dan konstruksi tangki dan reservoir diberikan dalam ACI 350, ACI 334.1R, dan ACI 372R.
1.4.9 Standar ini tidak berlaku untuk desain pelat komposit yang dicor setempat pada dek baja komposit. Beton yang digunakan pada konstruksi pelat seperti itu diatur oleh standar ini bilamana sesuai. Bagian pelat yang didesain sebagai beton bertulang diatur dalam standar ini.	**R1.4.9** Dalam jenis konstruksi ini, dek baja berfungsi sebagai tulangan momen positif. Desain dan konstruksi pelat dek komposit beton-baja dijelaskan dalam "*Standard for Composite Steel Floor Deck-Slab*s" (SDI C). Standar mengacu pada bagian-bagian yang sesuai dari standar ini untuk desain dan konstruksi bagian beton perakitan komposit. SDI C juga memberikan panduan untuk desain pelat dek komposit beton-baja. Desain tulangan momen negatif untuk kontinuitas pada tumpuan adalah contoh umum dimana sebagian pelat itu dirancang sesuai dengan standar ini.
1.5 - Interpretasi **1.5.1** Prinsip-prinsip interpretasi di bagian ini harus diterapkan pada standar ini secara keseluruhan kecuali dinyatakan lain.	**R1.5 - Interpretasi**

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
1.5.2 Standar ini terdiri dari pasal dan lampiran termasuk teks, judul, tabel, gambar, catatan kaki pada tabel dan gambar dan standar rujukan.	
1.5.3 Penjelasan terdiri dari prakata, pendahuluan, teks penjelasan, tabel, gambar, dan sitasi. Penjelasan ditujukan untuk memberikan informasi tetapi bukan merupakan bagian dari standar ini, tidak merupakan syarat yang mengikat dan tidak digunakan untuk menimbulkan konflik atau kerancuan dalam standar ini.	
1.5.4 Standar harus diinterpretasikan tanpa menyebabkan konflik di antara ketentuan-ketentuan di dalamnya. Ketentuan khusus lebih menentukan dibandingkan ketentuan-ketentuan umum.	**R1.5.4** Ketentuan umum adalah pernyataan yang luas, seperti sebuah bangunan harus dapat digunakan. Ketentuan khusus, seperti persyaratan distribusi tulangan eksplisit untuk kontrol retak, mengatur ketentuan umum.
1.5.5 Standar ini harus diinterpretasikan dan diterapkan secara harfiah dari kata dan istilah yang digunakan. Definisi khusus dari kata dan istilah dalam standar ini harus digunakan jika ada dan berlaku. Terlepas dari istilah-istilah yang terdapat dalam rujukan, standar atau sumber lain di luar standar ini memberikan definisi yang berbeda.	**R1.5.5** *ACI Concrete Terminology* (2013) adalah sumber utama untuk membantu menentukan makna kata atau istilah yang tidak didefinisikan dalam standar ini. Kamus dan rujukan lainnya yang biasa digunakan oleh para perencana ahli bersertifikat dapat digunakan sebagai sumber sekunder.
1.5.6 Kata dan istilah berikut dalam standar ini harus diinterpretasikan sesuai a) hingga e): a) Kata “harus” berarti wajib. b) Ketentuan dalam standar ini berlaku wajib walau kata “harus” tidak digunakan. c) Kata yang mengacu waktu sekarang juga berlaku untuk masa akan datang. d) Kata “dan” berarti semua butir, kondisi, persyaratan, atau kejadian yang berkaitan harus terpenuhi. e) Kata “atau” berarti butir, kondisi, persyaratan atau kejadian yang berkaitan adalah alternatif, dan setidaknya salah satunya terpenuhi.	
1.5.7 Dalam kasus satu atau lebih dari ketentuan pada standar ini dinyatakan tidak valid oleh pengadilan atau komite khusus yang dibentuk pemerintah, Keputusan tersebut tidak berefek pada validitas	**R1.5.7** Standar ini membahas banyak persyaratan yang dapat diimplementasikan sepenuhnya tanpa modifikasi jika persyaratan lainnya dalam standar ini ditentukan menjadi tidak valid. Persyaratan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
ketentuan lainnya pada standar ini dimana ketentuan tersebut terpisah. Keputusan dari pengadilan atau komite khusus yang dibentuk pemerintah tersebut hanya berlaku pada pengadilan tersebut dan tidak mempengaruhi isi atau interpretasi standar ini pada yurisdiksi lainnya.	keterpisahan ini dimaksudkan untuk menjaga dan mengizinkan standar ini untuk digunakan sejauh mungkin mengikuti keputusan hukum yang mempengaruhi satu atau lebih dari ketentuannya.
1.5.8 Bilamana ketentuan-ketentuan yang ada dalam standar ini bertentangan dengan standar dan dokumen yang diacu pada Pasal 3, ketentuan pada standar ini yang berlaku.	
1.6 - Pihak yang berwenang	**R1.6 - Pihak yang berwenang**
1.6.1 Pihak yang berwenang adalah pihak yang mengelola dan menegakkan standar bangunan gedung.	**R1.6.1** Pihak yang berwenang didefinisikan dalam 2.3.
1.6.2 Setiap tindakan dan keputusan yang dibuat pihak yang berwenang tersebut hanya berlaku spesifik pada wilayah yurisdiksinya dan tidak mengubah standar ini.	**R1.6.2** Hanya Badan Standar Nasional yang memiliki otoritas untuk mengubah standar ini.
1.6.3 Pihak yang berwenang mempunyai hak untuk memerintahkan pengujian material apapun yang digunakan dalam konstruksi beton untuk mengetahui apakah material tersebut memenuhi persyaratan.	
1.7 - Perencana ahli bersertifikat	**R1.7 - Perencana ahli bersertifikat**
1.7.1 Perencana ahli bersertifikat yang dimaksud dalam standar ini adalah orang yang mempunyai sertifikat dan bertanggung jawab terhadap desain dan pengawasan struktural.	**R.1.7.1** Perencana ahli bersertifikat didefinisikan dalam 2.3.
1.8 - Dokumen dan laporan perencanaan	**R1.8 - Dokumen dan laporan perencanaan**
1.8.1 Perencana ahli bersertifikat harus menyediakan dokumen perencanaan sesuai persyaratan Pasal 26 dan yang disyaratkan oleh hukum.	**R1.8.1** Ketentuan Pasal 26 untuk menyiapkan gambar proyek dan spesifikasi, secara umum, konsisten dengan kebanyakan peraturan umum gedung. Informasi tambahan mungkin diperlukan oleh pihak yang berwenang.
1.8.2 Perhitungan yang berkaitan dengan desain harus diajukan dengan dokumen konstruksi jika diminta oleh pihak yang berwenang. Analisis dan perencanaan menggunakan program komputer diizinkan dengan melampirkan asumsi desain, masukan data dan keluaran olahan komputer. Analisis model diizinkan sebagai perhitungan tambahan.	**R1.8.2** Keluaran komputer yang didokumentasikan diterima sebagai gantinya perhitungan manual. Cakupan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) akan bervariasi sesuai dengan persyaratan spesifik individu pihak yang berwenang. Namun, jika sebuah program komputer telah digunakan, hanya kerangka data yang biasanya diperlukan. Hal ini harus terdiri dari

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	data masukan dan keluaran yang cukup dan informasi lainnya untuk memungkinkan pihak yang berwenang untuk melakukan tinjauan terperinci dan membuat perbandingan menggunakan program lain atau perhitungan manual. Data masukan harus diantaranya identifikasi elemen, pembebanan, dan panjang bentang. Data keluaran seharusnya terdiri dari identifikasi elemen, geser, momen, dan reaksi pada titik-titik penting pada bentang elemen. Untuk keluaran desain kolom, diharapkan termasuk faktor pembesaran momen jika diterapkan. Standar ini memungkinkan analisis model untuk digunakan sebagai analisis struktural dan perhitungan desain tambahan. Dokumentasi analisis model harus disediakan dengan perhitungan terkait. Analisis model harus dilakukan oleh seorang yang memiliki pengalaman dalam teknik ini.
1.9 - Pengujian dan pengawasan	
1.9.1 Material beton harus diuji sesuai persyaratan pada Pasal 26.	
1.9.2 Pekerjaan beton harus diawasi sesuai dengan peraturan umum gedung dan mengikuti Pasal 17 dan Pasal 26.	
1.9.3 Laporan pengawasan harus memasukkan informasi sesuai Pasal 17 dan Pasal 26.	
1.10 - Persetujuan sistem khusus untuk desain, konstruksi atau material konstruksi alternatif	**R1.10 - Persetujuan sistem khusus untuk desain, konstruksi atau material konstruksi alternatif**
1.10.1 Penggunaan sebarang sistem desain, konstruksi, dan material konstruksi alternatif yang masuk dalam lingkup standar ini, yang kelayakannya telah ditunjukkan melalui penerapan yang berhasil atau melalui analisis atau pengujian, tetapi sistem-sistem khusus tersebut tidak memenuhi atau tidak tercakup dalam standar ini, harus diberi kesempatan untuk menyajikan data-data yang mendasari desain tersebut kepada pihak berwenang atau komite pengkaji yang ditunjuk oleh pihak yang berwenang. Komite ini harus beranggotakan ahli yang berkompetensi dan	**R1.10.1** Metode desain baru, material baru dan penerapan material baru, harus menjalani periode pengembangan sebelum bisa tercakup dalam standar. Oleh karena itu, sistem atau komponen yang baik bisa jadi tidak boleh digunakan karena belum bisa diterima. Untuk sistem khusus yang ditinjau dalam pasal ini, pengujian khusus, faktor beban, batas defleksi, dan persyaratan terkait lainnya harus ditetapkan oleh komite penguji, dan harus konsisten dengan tujuan standar.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
mempunyai kewenangan untuk mengkaji data yang disampaikan, meminta pengujian dan membuat ketentuan-ketentuan yang mengatur desain dan konstruksi sistem-sistem tersebut agar memenuhi yang disyaratkan standar ini. Ketentuan-ketentuan ini, bila disetujui oleh pihak yang berwenang dan diberlakukan, memiliki kekuatan dan pengaruh yang sama dengan ketentuan dalam standar ini.	Ketentuan-ketentuan bagian ini tidak berlaku untuk uji model yang digunakan untuk melengkapi perhitungan menurut 1.8.2 atau untuk evaluasi kekuatan struktur menurut Pasal 27.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 2 – NOTASI DAN TERMINOLOGI

2.1 - Ruang lingkup

2.1.1 Pasal ini mendefinisikan notasi dan terminologi yang digunakan dalam standar ini.

2.2 - Notasi

a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, mm

a_v = bentang geser, sama dengan jarak dari pusat beban terpusat ke: a) muka tumpuan untuk komponen struktur menerus atau kantilever, atau b) pusat tumpuan untuk komponen struktur tertumpu sederhana, mm

A_b = luas setiap batang atau kawat individu, mm^2

A_{brg} = luas tumpuan netto dari kepala *stud*, baut angkur, atau batang ulir berkepala, mm^2

A_c = luas penampang beton yang menahan transfer geser, mm^2

A_{cf} = luas penampang bruto lajur pelat-balok yang lebih besar dari dua rangka ekuivalen saling tegak lurus yang berpotongan pada kolom dari pelat dua arah, mm^2

A_{ch} = luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal, mm^2

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2

A_{cs} = luas penampang pada salah satu ujung *strut* dalam model *strut-and-tie*, diambil tegak lurus terhadap sumbu *strut*, mm^2

A_{ct} = luas bagian penampang antara muka tarik lentur dan pusat gravitasi penampang bruto, mm^2

A_{cv} = luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau pada kasus dinding dan luas bruto penampang beton dalam kasus diafragma, tebalnya tidak melebihi lebar diafragma, mm^2

A_{cw} = luas penampang beton pilar tunggal, segmen horizontal dinding, atau balok kopel yang menahan geser, mm^2

R2.2 - Notasi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

A_f = luas tulangan dalam braket atau korbel yang menahan momen desain terfaktor, mm^2

A_g = luas bruto penampang beton, mm^2. Untuk penampang berlubang, A_g adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas lubang

A_h = luas total tulangan geser sejajar terhadap tulangan tarik utama dalam korbel atau braket, mm^2

A_j = luas penampang efektif pada *joint* di bidang yang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam *joint*, mm^2

A_ℓ = luas total tulangan longitudinal untuk menahan torsi, mm^2

$A_{\ell,min}$ = luas minimum tulangan longitudinal untuk menahan torsi, mm^2

A_n = luas tulangan dalam braket atau korbel yang menahan gaya tarik N_{uc}, mm^2

A_{nz} = luas muka daerah *nodal* atau penampang melalui daerah *nodal*, mm^2

A_{Na} = luas pengaruh terproyeksi dari angkur tunggal atau kelompok angkur adhesif, untuk perhitungan kekuatan lekatan tarik, mm^2

A_{Nao} = luas pengaruh terproyeksi dari angkur tunggal adhesif, untuk perhitungan kekuatan lekatan tarik jika tidak dibatasi oleh jarak tepi atau spasi, mm^2

A_{Nc} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal atau kelompok angkur, untuk perhitungan kekuatan tarik, mm^2

A_{Nco} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal, untuk perhitungan kekuatan tarik jika tidak dibatasi oleh jarak tepi atau spasi, mm^2

A_o = luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser, mm^2

A_{oh} = luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar, mm^2

A_{pd} = luas total yang ditempati oleh selongsong, selubung dan tulangan prategang, mm^2

A_{ps} = luas baja prategang dalam daerah tarik lentur, mm^2

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

A_{pt} = luas total tulangan prategang, mm^2
A_s = luas tulangan tarik longitudinal nonprategang, mm^2
A_s' = luas tulangan tekan, mm^2
A_{sc} = luas tulangan tarik utama dalam korbel atau braket, mm^2
$A_{se,N}$ = luas penampang efektif angkur dalam kondisi tarik, mm^2
$A_{se,V}$ = luas penampang efektif angkur dalam kondisi geser, mm^2
A_{sh} = luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c, mm^2
A_{si} = luas total tulangan permukaan dengan spasi s_i dalam lapisan ke i yang melintasi *strut*, dengan tulangan dengan sudut α_i terhadap sumbu *strut*, mm^2
$A_{s,min}$ = luas minimum tulangan lentur, mm^2
A_{st} = luas total tulangan longitudinal nonprategang (batang tulangan atau profil baja), mm^2
A_{sx} = luas profil baja struktur, pipa, atau tabung dalam penampang komposit, mm^2
A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s, mm^2
A_{tp} = luas baja prategang dalam suatu ikatan, mm^2
A_{tr} = luas penampang total semua tulangan transversal dalam spasi s yang melintasi bidang potensial pembelahan melalui tulangan yang disalurkan, mm^2
A_{ts} = luas tulangan nonprategang dalam suatu ikatan, mm^2
A_v = luas tulangan geser dalam spasi s, mm^2
A_{vd} = luas total tulangan dalam setiap kelompok batang tulangan diagonal dalam balok kopel bertulangan diagonal, mm^2
A_{vf} = luas tulangan geser-friksi, mm^2
A_{vh} = luas tulangan geser yang paralel terhadap tulangan tarik lentur dalam spasi s_2, mm^2
$A_{v,min}$ = luas minimum tulangan geser dalam spasi s, mm^2
A_{Vc} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal atau kelompok

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

angkur, untuk perhitungan kekuatan geser, mm^2

A_{Vco} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal, untuk perhitungan kekuatan geser, jika tidak dibatasi oleh pengaruh sudut, spasi, atau tebal komponen struktur, mm^2

A_1 = luas yang dibebani untuk perhitungan kekuatan tumpu, mm^2

A_2 = luas dasar bawah piramida, kerucut, atau limas (*tapered wedge*) terpancung yang mempunyai luas atas A_1, dan mempunyai sisi miring dengan rasio vertikal terhadap horizontal 1 : 2, mm^2. A_2 harus termuat seluruhnya di dalam tumpuan

b = lebar muka tekan komponen struktur, mm,

b_c = dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh}, mm

b_f = Lebar sayap efektif penampang **T**, mm

b_o = keliling penampang kritis untuk geser dua arah pada pelat dan fondasi telapak (*footings*), mm

b_s = lebar *strut*, mm

b_{slab} = lebar efektif pelat menahan $\gamma_f M_{sc}$, mm

b_t = lebar bagian penampang yang mengandung sengkang tertutup yang menahan torsi, mm

b_v = lebar penampang pada permukaan kontak yang diperiksa untuk geser horizontal, mm

b_w = lebar badan, tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran, mm

b_1 = dimensi penampang kritis b_o yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan, mm

b_2 = dimensi penampang kritis b_o yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap b_1, mm

B_n = kekuatan tumpu nominal, N

B_u = beban tumpu terfaktor, N

c = jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral, mm

c_{ac} = jarak tepi kritis yang disyaratkan untuk menyalurkan kekuatan dasar

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
yang dikendalikan oleh jebolnya beton (*breakout*) atau lekatan beton dari angkur pascacor dalam kondisi tarik dalam beton yang tak retak tanpa tulangan pelengkap untuk mengendalikan pembelahan beton, mm	
$c_{a,max}$ = jarak maksimum dari pusat batang angkur ke tepi beton, mm	
$c_{a,min}$ = jarak minimum dari pusat batang angkur ke tepi beton, mm	
c_{a1} = jarak dari pusat batang angkur ke tepi beton dalam satu arah, mm. Jika geser diterapkan pada angkur, c_{a1} diambil dalam arah geser yang diterapkan. Jika tarik diterapkan pada angkur, c_{a1} adalah jarak tepi minimum. Dimana angkur yang dibebani geser terletak dalam penampang yang sempit dengan tebal terbatas, lihat 17.5.2.4	
	c'_{a1} = nilai yang membatasi c_{a1} dimana angkur terletak kurang dari 1,5 c_{a1} dari tiga atau lebih sisi, mm; lihat Gambar R17.5.2.4
c_{a2} = jarak dari pusat batang angkur ke tepi beton dalam arah tegak lurus terhadap c_{a1}, mm	
c_b = yang terkecil dari: a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang disalurkan, mm	
c_c = selimut bersih (*clear cover*) tulangan, mm,	
c_{Na} = jarak terproyeksi dari pusat batang angkur pada satu sisi angkur yang diperlukan untuk mengembangkan kekuatan lekatan penuh angkur tunggal dengan lekatan, mm	
c_t = jarak dari muka interior kolom ke tepi pelat yang diukur parallel terhadap c_1, tetapi tidak melebihi c_1, mm	
c_1 = dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (*capital*), atau braket yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan, mm	
c_2 = dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (*capital*), atau braket yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1, mm	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
C = konstanta penampang untuk menentukan properti torsi pelat dan balok	C = gaya tekan yang bekerja pada zona nodal, N
C_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual ke diagram momen seragam ekuivalen	
d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, mm	
d' = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal, mm	
d_a = diameter luar angkur atau diameter batang *stud* berkepala, baut berkepala, atau baut berkait,	
d'_a = nilai yang menggantikan d_a bila angkur berukuran lebih besar digunakan, mm	
d_{agg} = ukuran nominal maksimum agregat kasar, mm	
d_b = diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand (*strand*) prategang, mm,	
	d_{burst} = jarak dari angkur ke pusat gaya *bursting*, T_{burst}, N
d_p = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat baja prategang, mm,	
d_{pile} = diameter tiang di dasar fondasi (*footing*), mm	
D = pengaruh beban mati layan	
	e_{anc} = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur terhadap pusat penampang, mm
e_h = jarak dari permukaan dalam batang baut J atau L ke ujung luar baut J atau L, mm	
e'_N = jarak antara beban tarik resultan pada kelompok angkur yang dibebani tarik dan pusat kelompok angkur yang dibebani tarik, mm; e'_N selalu positif	
e'_V = jarak antara beban geser resultan pada kelompok angkur yang dibebani geser dalam arah yang sama, dan pusat kelompok angkur yang dibebani geser dalam arah yang sama, mm; e'_N selalu positif	
E = pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal	
E_c = modulus elastisitas beton, MPa	
E_{cb} = modulus elastisitas beton balok, MPa	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

E_{cs} = modulus elastisitas beton pelat, MPa

EI = kekakuan lentur komponen struktur, N-mm^2

$(EI)_{eff}$ = kekakuan lentur efektif komponen struktur, N-mm^2

E_p = modulus elastisitas baja prategang, MPa

E_s = modulus elastisitas tulangan dan baja struktural, MPa

f_c' = kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa

$\sqrt{f_c'}$ = akar kuadrat kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa

f_{ci}' = kekuatan tekan beton yang disyaratkan pada waktu prategang awal, MPa

$\sqrt{f_{ci}'}$ = akar kuadrat kekuatan tekan beton yang disyaratkan pada waktu prategang awal, MPa

f_{ce} = kekuatan tekan efektif beton dalam *strut* atau daerah pertemuan *nodal*, MPa

f_{cm} = kekuatan tekan beton rata-rata terukur, MPa

f_{ct} = kekuatan tarik belah rata-rata terukur beton ringan, MPa

f_d = tegangan akibat beban mati tak terfaktor, di serat terjauh penampang dimana tegangan tarik diakibatkan oleh beban luar, MPa

f_{dc} = tegangan dekompresi (*decompression*); tegangan pada baja prategang saat tegangan adalah nol dalam beton di tingkat (*level*) yang sama seperti titik berat baja prategang, MPa

f_{pc} = tegangan tekan beton setelah semua kehilangan prategang terjadi di titik berat penampang yang menahan beban terapan luar atau di pertemuan badan dan sayap bila pusat terletak dalam sayap, MPa. Dalam komponen struktur komposit, f_{pc} adalah tegangan tekan resultan di pusat penampang komposit, atau di pertemuan badan dan sayap bila pusat terletak dalam sayap, akibat baik prategang maupun momen yang ditahan oleh komponen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
struktur pracetak yang bekerja sendirian	
f_{pe} = tegangan tekan pada beton akibat gaya efektif prategang saja, setelah semua kehilangan prategang terjadi, di serat terjauh penampang jika tegangan tarik disebabkan oleh beban eksternal yang bekerja, MPa	
f_{ps} = tegangan dalam baja prategang pada kekuatan lentur nominal, MPa	
f_{pu} = kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan, MPa	
f_{py} = kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan, MPa	
f_r = modulus hancur (*rupture*) beton, MPa	
f_s = tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan, MPa	
f_s' = tegangan dalam tulangan tekan yang terkena beban terfaktor, MPa	
f_{se} = tegangan efektif dalam baja prategang (setelah semua kehilangan prategang terjadi), MPa	
	f_{si} = tegangan pada lapisan ke-*i* pada permukaan tulangan, MPa
f_t = tegangan serat terjauh tarik dalam daerah tarik pratekan yang dihitung saat beban layan menggunakan properti penampang bruto, MPa	
f_{uta} = kekuatan tarik baja angkur yang disyaratkan, MPa	
f_y = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, MPa	
f_{ya} = kekuatan leleh baja angkur yang disyaratkan, MPa	
f_{yt} = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y, MPa	
F = pengaruh beban akibat berat dan tekanan fluida dengan kerapatan dan tinggi maksimum yang dapat didefinisikan dengan baik	
F_{nn} = kekuatan nominal di muka zona nodal, N	
F_{ns} = kekuatan nominal *strut*, N	
F_{nt} = kekuatan nominal *tie*, N	
F_{un} = gaya terfaktor pada daerah muka *node*, N	
F_{us} = gaya tekan terfaktor di daerah *strut*, N	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
F_{ut} = gaya tarik terfaktor di pengikat (*tie*), N	
h = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm	
h_a = tebal komponen struktur dimana lokasi angkur, diukur paralel terhadap sumbu angkur, mm	
	h_{anc} = dimensi perangkat angkur atau kelompok tunggal perangkat berjarak dekat ke arah *bursting* yang diperhitungkan, mm
h_{ef} = panjang penanaman efektif angkur, mm	
	h'_{ef} = nilai batas h_{ef} dimana angkur terletak kurang dari $1{,}5h_{ef}$ dari tiga tepi atau lebih, mm; merujuk pada gambar R17.4.2.3
h_{sx} = tinggi tingkat untuk tingkat x, mm	
h_u = tinggi lateral tidak tertumpu pada serat tekan terjauh pada dinding dan pilar dinding, mm, ekuivalen dengan ℓ_u untuk komponen tekan	
h_v = tinggi penampang kepala-geser (*shearhead*), mm	
h_w = tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau, mm	
h_x = spasi horizontal ikat silang atau kaki sengkang pengekang (*hoop*) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom, mm	
H = pengaruh beban akibat tekanan lateral tanah, air dalam tanah, atau bahan lainnya, N	
I = momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, mm^4	
I_b = momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat, mm^4	
I_{cr} = momen inersia penampang retak yang ditransformasi ke beton, mm^4	
I_e = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi, mm^4	
I_g = momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan, mm^4	
I_s = momen inersia penampang bruto pelat terhadap sumbu pusat, mm^4	
I_{se} = momen inersia tulangan terhadap sumbu pusat penampang komponen struktur, mm^4	
I_{sx} = momen inersia profil baja struktural, pipa, atau tabung terhadap sumbu	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pusat penampang komponen struktur komposit, mm^4	
k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan	
k_c = koefisien untuk kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi tarik	
k_{cp} = koefisien untuk kekuatan jungkit (*pryout*)	
k_f = faktor kekuatan beton	
k_n = faktor efektifitas pengekangan	
K_{tr} = indeks tulangan transversal, mm	K_t = kekakuan torsi elemen; momen per unit rotasi
	K_{05} = koefisien yang terkait dengan fraksi 5 persen
ℓ = panjang bentang balok atau pelat satu arah; proyeksi bersih kantilever, mm	
ℓ_a = panjang penanaman tambahan melewati garis pusat tumpuan atau titik belok, mm	
	ℓ_{anc} = panjang angkur yang terikat harus terjadi, mm
	ℓ_b = lebar landasan, mm
ℓ_c = panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat *joint*, mm	
ℓ_d = panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau *strand* pratarik, mm	
ℓ_{dc} = panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir, mm	
ℓ_{db} = panjang tulangan prategang tanpa lekatan pada ujung komponen, mm	
ℓ_{dh} = panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis ujung luar kait (panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait [titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan), mm	
ℓ_{dt} = panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir berkepala, yang diukur dari penampang kritis ke muka tumpuan kepala, mm	
ℓ_e = panjang tumpuan beban angkur untuk geser, mm	
ℓ_{ext} = Perpanjangan bagian lurus pada ujung kait standar, mm	
ℓ_n = panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
ℓ_o = panjang, yang diukur dari muka *joint* sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus harus disediakan, mm	
ℓ_{sc} = panjang sambungan lewatan di daerah tekan, mm	
ℓ_{st} = panjang sambungan lewatan di daerah tarik, mm	
ℓ_t = bentang komponen struktur akibat uji beban, diambil sebagai bentang yang lebih pendek untuk sistem pelat dua arah, mm. Bentang adalah yang lebih kecil dari: (a) jarak di antara pusat tumpuan, dan (b) jarak bersih antara tumpuan ditambah tebal h komponen struktur. Bentang untuk kantilever harus diambil sebagai dua kali jarak dari muka tumpuan ke ujung kantilever	
ℓ_{tr} = Panjang penyaluran tulangan prategang, mm	
ℓ_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan, mm	
ℓ_v = panjang lengan kepala geser (*shearhead*) dari pusat beban atau reaksi terpusat, mm	
ℓ_w = panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser, mm	
ℓ_1 = panjang bentang dalam arah dimana momen ditentukan, yang diukur pusat ke pusat tumpuan, mm	
ℓ_2 = panjang bentang dalam arah tegak lurus terhadap ℓ_1, yang diukur pusat ke pusat tumpuan, mm	
L = pengaruh beban hidup layan	
L_r = pengaruh beban hidup atap layan	
	M = momen yang bekerja pada angkur atau kelompok angkur, N-mm
M_a = momen maksimum dalam komponen struktur akibat beban layan pada tahap defleksi dihitung, N-mm	
M_c = momen terfaktor yang diperbesar untuk pengaruh kurvatur komponen struktur yang digunakan untuk desain komponen struktur tekan, N-mm	
M_{cr} = momen retak, N-mm	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

M_{cre} = momen yang mengakibatkan retak lentur pada penampang akibat beban terapan luar, N-mm

M_{max} = momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja, N-mm

M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang, N-mm

M_{nb} = kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam *joint*, N-mm

M_{nc} = kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur yang terendah, N-mm

M_o = momen statis terfaktor total, N-mm

M_p = kekuatan momen plastis perlu penampang kepala-geser (*shearhead*), N-mm

M_{pr} = kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka *joint* yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1{,}25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0, N-mm

M_{sa} = Momen maksimum pada dinding akibat beban layan, tidak termasuk efek $P\Delta$, N-mm,

M_{sc} = Momen terfaktor pelat yang ditahan oleh kolom pada joint, N-mm

M_u = momen terfaktor pada penampang, N-mm

M_{ua} = momen di tengah tinggi dinding akibat beban lateral dan vertikal eksentris terfaktor, tidak termasuk pengaruh $P\Delta$, N-mm

M_v = tahanan momen yang disumbang oleh tulangan kepala-geser (*shearhead*), N-mm

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil sebagai positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda, N-mm

M_{1ns} = momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan pada ujung dimana M_1 bekerja, akibat beban yang mengakibatkan goyangan samping tidak besar, yang dihitung menggunakan analisis rangka elastis orde pertama, N-mm

M_{1s} = momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan pada ujung dimana M_1 bekerja, akibat beban yang mengakibatkan goyangan samping cukup besar, yang dihitung menggunakan analisis rangka elastis orde pertama, N-mm

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan transversal terjadi di antara tumpuan, M_2 diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur. Nilai M_2 selalu positif, N-mm

$M_{2,min}$ = nilai minimum M_2, N-mm

$M_{2,ns}$ = momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan *pada* ujung dimana M_2 bekerja, akibat beban yang mengakibatkan goyangan samping tidak besar, yang dihitung menggunakan analisis rangka elastis orde pertama, N-mm

M_{2s} = momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan pada ujung dimana M_2 bekerja, akibat beban yang mengakibatkan goyangan samping cukup besar, yang dihitung menggunakan analisis rangka elastis orde pertama, N-mm

n = jumlah benda, seperti uji kekuatan, batang tulangan, kawat, alat angkur *strand*-tunggal (*monostrand*), angkur, atau lengan kepala geser (*shearhead*)

n_ℓ = jumlah tulangan longitudinal sekeliling tepi inti kolom dengan sengkang tertutup yang ditumpu secara lateral pada sudut sengkang atau oleh kait gempa. Seikat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tulangan dihitung sebagai tulangan tunggal.	
N_a = kekuatan lekatan nominal dalam kondisi tarik dari angkur tunggal adhesif, N	
N_{ag} = kekuatan lekatan nominal dalam kondisi tarik dari kelompok angkur adhesif, N	
N_b = kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi tarik dari angkur tunggal dalam beton yang retak, N	
N_{ba} = kekuatan lekatan dasar dalam kondisi tarik dari angkur tunggal adhesif, N,	
N_c = gaya tarik resultan yang bekerja pada bagian penampang beton yang dibebani tegangan tarik akibat pengaruh kombinasi beban layan dan prategang efektif, N	
N_{cb} = kekuatan jebol beton nominal dalam kondisi tarik dari angkur tunggal, N	
N_{cbg} = kekuatan jebol beton nominal dalam kondisi tarik dari kelompok angkur, N	
N_{cp} = kekuatan jungkit beton dasar dari angkur tunggal, N	
N_{cpg} = kekuatan jungkit beton dasar dar kelompok angkur, N	
N_n = kekuatan nominal tarik, N	
N_p = kekuatan cabut (*pullout*) dalam kondisi tarik dari angkur tunggal dalam beton yang retak, N	
N_{pn} = kekuatan cabut nominal dalam kondisi tarik dari angkur tunggal, N,	
N_{sa} = kekuatan nominal dari angkur tunggal atau angkur individu dalam kelompok angkur dalam kondisi tarik yang ditentukan oleh kekuatan baja, N	
N_{sb} = kekuatan ambrol (*blowout*) muka samping dari angkur tunggal, N	
N_{sbg} = kekuatan ambrol muka samping dari kelompok angkur, N	
N_u = gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u ; diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik, N	
	n_t = jumlah *threads* per inchi
	N = gaya tarik yang bekerja pada angkur atau kelompok angkur, N

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
N_{ua} = gaya tarik terfaktor yang diterapkan pada angkur atau angkur individu dalam kelompok angkur, N	
$N_{ua,g}$ = gaya tarik terfaktor total yang diterapkan pada kelompok angkur, N	
$N_{ua,i}$ = gaya tarik terfaktor yang diterapkan pada angkur yang paling tertegang dalam kelompok angkur, N	
$N_{ua,s}$ = beban tarik tetap terfaktor, N	
N_{uc} = gaya tarik horizontal terfaktor yang diterapkan di atas braket atau korbel yang bekerja serentak dengan V_u , diambil sebagai positif untuk tarik, N	
p_{cp} = keliling luar penampang beton, mm	
p_h = keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar, mm	
	$P\delta$ = momen sekunder akibat kelangsingan individual elemen, N-mm
P_c = beban tekuk kritis, N	
P_n = kekuatan aksial nominal penampang, N	
$P_{n,max}$ = nilai P_n maksimum yang diperbolehkan, N	
P_{nt} = kekuatan tarik aksial nominal komponen, N	
$P_{nt,max}$= nilai P_{nt} maksimum, N	
P_o = kekuatan aksial nominal pada eksentrisitas nol, N	
P_{pu} = gaya prategang terfaktor pada alat angkur, N	
P_s = beban aksial tak terfaktor pada penampang (tengah ketinggian) desain termasuk pengaruh berat sendiri, N	
P_u = gaya aksial terfaktor; diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik, N	
$P\Delta$ = momen sekunder yang diakibatkan defleksi lateral, N-mm	
q_{Du} = beban mati terfaktor per satuan luas, N/m^2	
q_{Lu} = beban hidup terfaktor per satuan luas, N/m^2	
q_u = beban terfaktor per satuan luas, N/m^2	
Q = indeks stabilitas untuk suatu tingkat	
r = radius girasi penampang komponen struktur tekan, mm	
R = pengaruh beban hujan kumulatif layan	R = reaksi, N

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
s = spasi pusat ke pusat suatu benda, misalnya tulangan longitudinal, tulangan transversal, tendon, kawat atau angkur prategang, mm	
s_i = spasi pusat ke pusat tulangan dalam lapisan ke i yang berdekatan dengan permukaan komponen struktur, mm	
s_o = spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang ℓ_o mm	
s_s = deviasi standar contoh uji, MPa	
s_w = jarak bersih antara badan yang berdekatan, mm	
s_2 = spasi pusat ke pusat tulangan geser atau torsi longitudinal, mm	
S_e = momen, geser, atau gaya aksial pada sambungan yang terkait dengan pembentukan kekuatan mungkin di lokasi leleh yang diharapkan, berdasarkan pada mekanisme deformasi lateral inelastik yang menentukan, dengan meninjau baik pengaruh gravitasi dan gempa	
S_m = modulus penampang elastis, mm^3	
S_n = kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal	
S_y = kekuatan leleh sambungan, berdasarkan pada f_y, untuk momen, geser, atau gaya aksial	
t = tebal dinding penampang berlubang, mm	
t_f = tebal sayap, mm	
T = pengaruh kumulatif suhu, rangkak, susut, perbedaan penurunan, dan beton yang dapat mengimbangi susut (*shrinkage compensating concrete*)	T = gaya tarik yang bekerja pada zona nodal dalam model *strut* dan *tie*, N (T juga digunakan untuk mendefinisikan efek kumulatif temperatur layan, rangkak, susut, penurunan tidak seragam dan *shrinkage-compensating concrete* dalam kombinasi beban yang didefinisikan pada 5.3.6).
	T_{burst} =Gaya tarik di zona umum yang bekerja di depan perangkat angkur yang disebabkan oleh penyebaran kekuatan angkur, N
T_{cr} = momen retak torsi, N-mm	
T_t = beban uji total, N	
T_{th} = momen torsi *threshold*, N-mm	
T_n = kekuatan momen torsi nominal, N-mm	
T_u = momen torsi terfaktor pada penampang, N-mm	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
U = kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang terkait dengan kombinasinya	
v_c = tegangan terkait kekuatan geser dua arah nominal yang disediakan oleh beton, MPa	
v_n = tegangan beton ekuivalen terkait kekuatan geser dua arah nominal pada pelat atau fondasi, MPa	
v_s = tegangan beton ekuivalen terkait kekuatan geser dua arah nominal yang disediakan oleh tulangan, MPa	
v_u = tegangan geser dua arah maksimum terfaktor yang dihitung di keliling penampang kritis yang ditinjau, MPa	
v_{ug} = tegangan geser terfaktor pada penampang kritis pelat untuk aksi dua arah akibat beban gravitasi tanpa transfer momen, MPa	
	V = gaya geser yang bekerja pada angkur atau kelompok angkur, N
V_b = kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi geser dari angkur tunggal dalam beton yang retak, N	
V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, N	
V_{cb} = kekuatan jebol beton nominal dalam kondisi geser dari angkur tunggal, N	
V_{cbg} = gaya geser desain untuk kombinasi beban termasuk pengaruh gempa, N	
V_{ci} = Kekuatan geser nominal yang disediakan beton retak diagonal dihasikan dari kombinasi geser dan momen, N	
V_{cp} = kekuatan jungkit beton nominal dari angkur tunggal, N	
V_{cpg} = kekuatan jungkit beton nominal dari kelompok angkur, N	
V_{cw} = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton bila retak diagonal yang dihasilkan dari tegangan tarik utama yang tinggi dalam badan, N	
V_d = gaya geser pada penampang akibat beban mati tak terfaktor, N	
V_e = gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa, N	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
V_i = gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban luar yang terjadi serentak dengan M_{max}, N	
V_n = kekuatan geser nominal, N	
V_{nh} = kekuatan geser horizontal nominal, N,	
V_p = komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang, N	
V_s = kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser, N	
V_{sa} = kekuatan geser nominal dari angkur tunggal atau angkur individu dalam kelompok angkur yang ditentukan oleh kekuatan baja, N	
V_u = gaya geser terfaktor penampang, N	
V_{ua} = gaya geser terfaktor yang diterapkan pada angkur tunggal atau kelompok angkur, N	
$V_{ua,g}$ = gaya geser terfaktor total yang diterapkan pada kelompok angkur, N	
$V_{ua,i}$ = gaya geser terfaktor yang diterapkan pada angkur yang paling tinggi tegangannya dalam kelompok angkur, N	
V_{uh} = gaya geser terfaktor sepanjang permukaan kontak pada komponen lentur beton komposit, N	
V_{us} = geser horizontal terfaktor pada suatu tingkat, N	
	$V_{\|\|}$ = gaya geser maksimum yang dapat bekerja sejajar tepi, N
	$V_{\perp}$ = gaya geser maksimum yang dapat bekerja tegak lurus tepi, N
w_c = berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan, kg/m^3	
	w_s = lebar *strut* tegak lurus terhadap sumbu *strut*, mm
	w_t = tinggi efektif beton konsetrik dengan sengkang, digunakan untuk ukuran zona nodal, mm
	$w_{t,maks}$= maksimum tinggi efektif beton konsetrik dengan sengkang ikat, mm
w_u = beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah, N/mm	
w/cm = rasio air terhadap material sementisius	
W = pengaruh beban angin	
	W_a = level layan beban angin, N

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

x = dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek, mm

y = dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang, mm

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto, yang mengabaikan tulangan, ke muka tarik, mm

α = sudut yang menentukan orientasi tulangan

α_c = koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal

α_f = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel di sebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok

α_{fm} = nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel

α_{f1} = α_f dalam arah ℓ_1

α_{f2} = α_f dalam arah ℓ_2

α_i = sudut antara sumbu *strut* dan batang tulangan dalam lapisan ke-i tulangan yang melintasi *strut* tersebut

α_s = konstanta yang digunakan untuk menghitung V_c pada pelat dan fondasi telapak

α_v = rasio kekakuan lentur lengan kepala-geser (*shearhead*) terhadap kekakuan lentur penampang pelat komposit yang mengelilinginya

α_1 = arah distribusi tulangan pada *strut*

α_2 = arah tulangan ortogonal terhadap α_1 pada strut

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek: bentang bersih untuk pelat dua arah, sisi kolom, beban terpusat atau luasan reaksi, atau sisi fondasi telapak

β_b = rasio luas pemutusan tulangan terhadap luas total tulangan tarik pada penampang

β_{dns} = rasio yang digunakan untuk memperhitungkan reduksi kekakuan kolom akibat beban aksial tetap

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

β_{ds} = rasio geser tetap maksimum terfaktor dalam satu lantai maksimum geser terfaktor pada lantai tersebut untuk kombinasi beban yang sama

β_n = faktor untuk memperhitungkan pengaruh angkur pengikat pada kekuatan tekan efektif zona nodal

β_s = faktor untuk memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan pengekang pada kekuatan tekan efektif beton dalam strut

β_t = rasio kekakuan torsi penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar sama dengan panjang bentang balok, diukur dari pusat ke pusat tumpuan

β_1 = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

γ_f = faktor yang digunakan untuk menentukan bagian M_{sc} yang disalurkan oleh lentur pada sambungan pelat-kolom

γ_p = faktor untuk tipe baja prategang

γ_s = faktor yang digunakan untuk menentukan bagian tulangan yang berlokasi pada jalur tengah fondasi telapak

γ_v = faktor yang digunakan untuk menentukan momen tak seimbang yang disalurkan oleh eksentrisitas geser di sambungan pelat-kolom

δ = faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan

δ_s = faktor pembesaran momen untuk rangka yang tidak dikekang (*braced*) terhadap goyangan, untuk mencerminkan drif (*drift*) lateral yang dihasilkan dari beban lateral dan beban gravitasi

δ_u = perpindahan desain, mm

Δ_{cr} = defleksi tegak lurus bidang yang dihitung di tengah tinggi dinding terkait dengan momen retak M_{cr}, mm

Δ_n = defleksi tegak lurus bidang yang dihitung di tengah tinggi dinding

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
yang berhubungan dengan kekuatan lentur nominal M_n, mm	
Δ_o = defleksi lateral relatif antara bagian atas dan bawah suatu tingkat akibat dari V_{us}, mm	
Δf_p = peningkatan tegangan dalam baja prategang akibat beban terfaktor, MPa	
Δf_{ps} = tegangan dalam baja prategang saat beban layan dikurangi tegangan dekompresi, MPa	
	Δf_{pt} = perbedaan antara tegangan yang dapat dikembangkan dalam *strand* pada penampang yang diperhitungkan dan tegangan yang dibutuhkan untuk menahan momen lentur terfaktor pada penampang, M_u/ϕ, Mpa
Δ_r = perbedaan antara defleksi awal dan akhir (setelah penghilangan beban) untuk uji beban atau uji beban berulang, mm	
Δ_s = defleksi tegak lurus bidang akibat beban layan, mm	
Δ_u = defleksi yang dihitung di tengah tinggi dinding akibat dari beban terfaktor, mm	
Δ_x = simpangan tingkat desain pada lantai x, mm	
Δ_1 = defleksi maksimum yang diukur selama uji beban pertama diukur 24 jam setelah pemberian beban uji penuh, mm	
Δ_2 = defleksi maksimum yang diukur selama uji beban kedua relatif terhadap posisi struktur saat permulaan uji beban kedua, mm	
	ε_{cu} = regangan maksimum yang digunakan pada serat tekan beton terjauh
ε_t = regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, tidak termasuk regangan akibat dari prategang efektif, rangkak, susut, dan suhu	
ε_{ty} = nilai regangan tarik netto pada lapisan terluar dari tulangan tarik longitudinal yang digunakan untuk menentukan penampang terkontrol tekan	
θ = sudut antara sumbu *strut*, diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (*chord*) tarik komponen struktur	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
λ = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama	
λ_a = faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan pada aplikasi pengangkuran beton tertentu	
λ_Δ = faktor pengali untuk defleksi tambahan akibat pengaruh jangka panjang	
μ = koefisien friksi	
ξ = faktor jangka panjang untuk beban tetap	
ρ = rasio A_s terhadap bd	
ρ' = rasio A_s' terhadap bd	
ρ_ℓ = rasio luas tulangan longitudinal terdistribusi terhadap luas beton bruto yang luas tegak lurus terhadap tulangan yang dimaksud	
ρ_p = rasio A_{ps} terhadap b_{dp}	
ρ_s = rasio volume tulangan spiral terhadap volume total inti yang dikekang oleh spiral (diukur dari sisi luar ke sisi luar spiral)	
ρ_t = rasio luas tulangan transversal terdistribusi terhadap luas beton bruto yang tegak lurus terhadap tulangan yang dimaksud	
ρ_v = rasio luas tulangan pengikat terhadap luas permukaan kontak,	
ρ_w = rasio A_s terhadap $b_w d$	
	ζ = simbol eksponen pada persamaan interaksi gaya tarik/geser
ϕ = faktor reduksi kekuatan,	
	ϕ_K = faktor reduksi kekakuan
	σ = tegangan tekan nominal beton serat terjauh pada elemen batas dinding, MPa
τ_{cr} = tegangan lekatan karakteristik dari angkur adhesif dalam beton yang retak, MPa	
τ_{uncr} = tegangan lekatan karakteristik dari angkur adhesif dalam beton yang tak retak, MPa	
ψ_c = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan penyaluran berdasarkan selimut	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

$\psi_{c,N}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur berdasarkan pada keberadaan atau ketidakberadaan retak pada beton

$\psi_{c,P}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik cabut angkur berdasarkan pada keberadaan atau ketidakberadaan retak pada beton

$\psi_{c,V}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan geser angkur berdasarkan pada keberadaan atau ketidakberadaan retak pada beton dan keberadaan atau ketidakberadaan tulangan tambahan

$\psi_{cp,N}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur pascapasang yang ditujukan untuk penggunaan dalam beton yang tak retak tanpa tulangan tambahan untuk memperhitungkan tegangan tarik belah akibat pemasangan

$\psi_{cp,Na}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur adhesif dengan lekatan yang ditujukan untuk penggunaan dalam beton yang tak retak tanpa tulangan pelengkap untuk memperhitungkan tegangan tarik belah akibat pemasangan

ψ_{e} = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan

$\psi_{ec,N}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur berdasarkan pada eksentrisitas beban yang diterapkan

$\psi_{ec,Na}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur adhesif berdasarkan pada eksentrisitas beban yang diterapkan

$\psi_{ec,V}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan geser angkur berdasarkan pada eksentrisitas beban yang diterapkan

$\psi_{ed,N}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur berdasarkan pada kedekatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

terhadap tepi komponen struktur beton

$\psi_{ed,Na}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan tarik angkur adhesif dengan lekatan berdasarkan pada kedekatan terhadap tepi komponen struktur beton

$\psi_{ed,V}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan geser angkur berdasarkan pada kedekatan terhadap tepi komponen struktur beton

$\psi_{h,V}$ = faktor yang digunakan untuk memodifikasi kekuatan geser angkur yang berada dalam komponen struktur beton dengan $h_a < 1,5c_{a1}$

ψ_r = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan tulangan pengekang

ψ_s = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan

ψ_t = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan,

ψ_w = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran untuk tulangan kawat ulir las yang mengalami tarik,

Ω_o = faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal

2.3 - Terminologi

R2.3 - Terminologi

Istilah berikut didefinisikan untuk penggunaan umum dalam Standar ini. Definisi khusus muncul dalam masing-masing pasal.

Adhesif (*Adhesive*) — Komponen kimiawi yang diformulasi dari polimer organik, atau kombinasi polimer organik dan bahan anorganik yang menyatu jika dicampurkan.

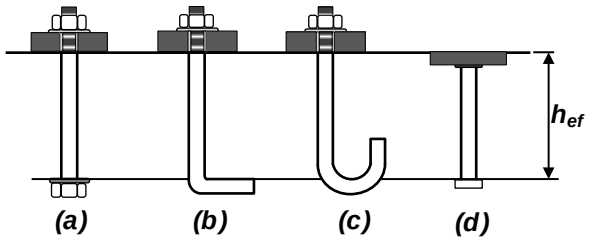
Agregat (*Aggregate*) — Bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

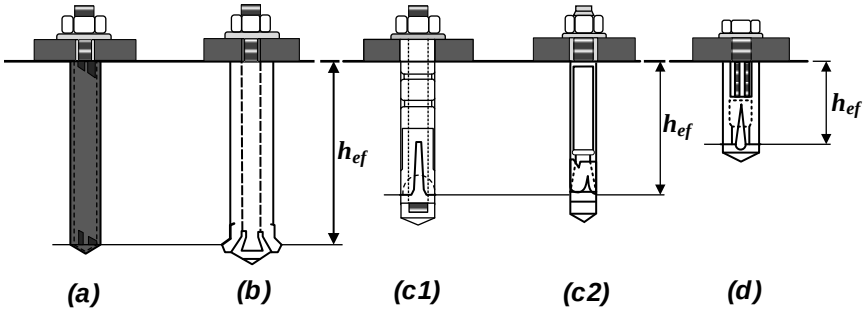
STANDAR	PENJELASAN
Agregat, ringan (*Aggregate*, *lightweight*) — Agregat yang memenuhi persyaratan ASTM C330M dan mempunyai berat volume (*density*) gumpalan (*bulk*) lepas sebesar 1120 kg/m^3 atau kurang, ditentukan sesuai dengan ASTM C29M.	**Agregat, ringan (*Aggregate*, *lightweight*)** — dalam beberapa standar, terminologi ”agregat ringan” diganti dengan ”agregat dengan berat jenis rendah”
Analisis elemen hingga (*Finite element analysis*) — Teknik model numerik dimana struktur dibagi menjadi elemen diskrit untuk analisis.	
Angkur — elemen baja yang ditanam dalam beton sebelum dicor atau dipasang kemudian ke dalam komponen beton yang sudah mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban yang bekerja ke beton.	**Angkur** — Angkur tanam termasuk baut berkepala, *hooked bolts* (batu -J atau -L), dan *headed studs*. Angkur pascacor termasuk angkur ekspansion, angkur undercut, dan angkur adhesif; elemen baja untuk angkur adhesif termasuk threaded rods, tulangan baja ulir, atau internally *threaded steel sleeves* dengan deformasi eksternal. Jenis-jenis angkur ditunjukkan pada Gambar. R2.1.
Angkur, adhesif *(anchor*, *adhesive)* — angkur tanam pascacor, dimasukkan kedalam beton yang mengeras dimana diameter lubang angkur tidak lebih besar dari 1,5 kali diameter angkur, yang menyalurkan beban ke beton melalui lekatan antara angkur dan bahan adhesif, dan lekatan antara bahan adhesif dan beton.	**Angkur, adhesif *(anchor*, *adhesive)*** — Model desain termasuk dalam Pasal 17 untuk angkur adhesif didasarkan pada perilaku angkur dengan diameter lubang tidak melebihi 1,5 kali diameter angkur. Angkur dengan diameter lubang melebihi 1,5 kali diameter angkur berperilaku berbeda dan karenanya tidak termasuk dari ruang lingkup Pasal 17 dan ACI 355.4. Untuk membatasi penyusutan dan mengurangi perpindahan akibat beban, sebagian besar sistem angkur adhesif membutuhkan celah annular yang sempit pada praktiknya sambil tetap mempertahankan jarak yang cukup untuk penyisipan elemen angkur pada lubang adhesif yang diisi dan memastikan cakupan yang penuh dari area terlekat melebihi panjang tertanam. Celah annular untuk tulangan umumnya lebih besar dari yang digunakan untuk *threaded rods*. Ukuran lubang yang dibutuhkan disediakan di petunjuk pemasangan milik pabrikan.
Angkur, ekspansi *(anchor*, *expansion)* — angkur tanam pascacor, dipasang pada beton yang sudah mengeras, menyalurkan beban ke atau dari beton melalui tumpuan langsung atau friksi atau keduanya.	**Angkur, ekspansi** — Angkur, ekspansi dapat berupa terkontrol torsi, dimana perpanjangan dicapai oleh gaya torsi yang bekerja pada sekrup atau baut; atau terkontrol perpindahan, di mana perpanjangan dicapai oleh gaya benturan yang bekerja pada selongsong atau plug dan perpanjangan dikontrol oleh panjang pergerakan *sleeve* atau *plug*.
Angkur, horizontal atau miring ke atas *(anchor*, *horizontal or upwardly inclined)*	**Angkur, horizontal atau miring keatas *(anchor*, *horizontal or upwardly***

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
— angkur yang dipasang di dalam lubang yang dibor secara horizontal atau miring keatas pada arah manapun di atas horizontal	***inclined)*** — Gambar R2.2 menggambarkan potensial orientasi lubang pada angkur horizontal atau miring keatas.

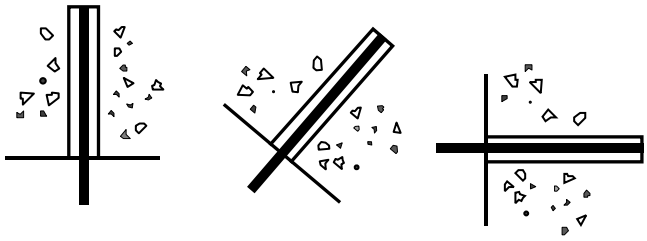


(A) Angkur tanam cor ditempat : (a) kepala baut hex dengan ring ; (b) Baut L; (c) Baut J; dan (d) kepala stud dilas



(B) Angkur tanam pascacor : (a) angkur adhesif; (b) angkur ujung diperlebar; (c) angkur ekspansi terkontrol torsi (c1) tipe selongsong dan (c2) tipe stud*); dan (d) angkur ekspansi terkontrol perpindahan tipe* drop-in

Gambar R2.1 – Tipe angkur



Gambar R2.2 – Orientasi angkur yang memungkinkan menghadap ke atas, cenderung ke atas, atau horizontal

Angkur, pascacor *(anchor, post-installed)* — angkur yang dipasang pada beton yang sudah mengeras; contohnya adalah angkur adhesif, angkur ekspansi (*expansion anchor)*, angkur dengan ujung diperlebar (*undercut anchor).*

Angkur, tanam cor di tempat *(anchor, cast in)* — baut berkepala, *stud* berkepala atau baut berkait yang dipasang sebelum pengecoran.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Angkur, *ujung diperlebar (anchor, undercut)* — angkur tanam pascacor yang mendapatkan kekuatan tariknya dari interlok mekanik yang terjadi dengan memperlebar bidang kontak ujung angkur. Perbesaran ujung dapat dilakukan dengan bor khusus sebelum memasang angkur atau dengan menggunakan angkur tersebut.	
Area yang diproyeksikan (*Projected area*) — area pada permukaan bebas komponen beton yang digunakan untuk mewakili dasar yang lebih besar dari asumsi kegagalan permukaan persegi.	
Area pengaruh yang diproyeksikan (*Projected influence area*) — area persegi pada permukaan bebas komponen beton yang digunakan untuk menghitung kekuatan lekatan angkur adhesive.	
Baja prategang (*reinforcement, prestressing*) — baja mutu tinggi seperti *strand*, kawat, batang, yang memenuhi 20.3.1.	
Balok *(beam)* — komponen struktur yang utamanya menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi; balok dalam rangka momen yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral umumnya komponen horizontal; gelagar adalah balok.	
Batang ulir berkepala (*Headed deformed bars*) — Batang tulangan ulir dengan kepala yang dilekatkan pada satu atau kedua ujungnya.	**Batang ulir berkepala (*Headed deformed bars*)** — luas bearing batang ulir berkepala, untuk kebanyakan bagian, tegak lurus terhadap sumbu axis. Sebaliknya, area bearing kepala yang batang ulir berkepala adalah ruang permukaan nonplanar revolusi, seperti ditunjukkan pada Gambar R20.5.1. Dua jenis penulangan berbeda dengan cara lain. *Shanks* dari *stud* berkepala adalah halus, tidak berulir seperti tulangan ulir berkepala. Luas landasan bersih minimum kepala tulangan ulir berkepala bar diizinkan untuk menjadi sekecil empat kali area bar. Sebaliknya, luas kepala stud minimum tidak ditentukan sebagai luas bearing, tetapi total luas kepala yang mana harus setidaknya 10 kali luas *shank*.
Batas regangan terkontrol tekan (*Compression-controlled strain limit*) — Regangan tarik neto pada kondisi regangan seimbang.	
Baut berkait (*Hooked bolt*) — Angkur tanam yang ditanam umumnya dengan	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tumpu tekukan 90 derajat (baut L) atau tekukan 180 derajat (baut j) terhadap beton, pada ujung tanam dan mempunyai minimum e_h setara $3d_a$.	
Baut berkepala (*Headed bolt*) — Angkur baja tanam yang mendapatkan gaya tariknya dari *interlock* mekanik yang disediakan oleh baik kepala atau mur pada ujung angkur yang tertanam.	
Beban (*Load*) — Gaya atau aksi lain yang dihasilkan dari berat seluruh bahan bangunan, penghunian dan benda-bendanya, efek lingkungan, pergerakan sebagian (*differential movement),* dan perubahan dimensi yang terkendali; beban tetap adalah beban dimana variasi dari waktu ke waktu jarang atau kecil; semua beban lainnya adalah beban variabel.	**Beban (*Load*)** — Sejumlah definisi untuk beban diberikan sebagai standar berisi persyaratan yang harus dipenuhi di berbagai tingkat beban. Istilah "beban mati" dan "beban hidup" merujuk ke beban tidak terfaktor, kadang-kadang disebut beban “layan” ditentukan oleh standar bangunan umum. Beban layan (beban tanpa faktor beban) harus digunakan jika ditentukan dalam standar untuk merancang atau menyelidiki elemen untuk kondisi servis yang yang memadai. Beban digunakan untuk merancang elemen untuk memenuhi kekuatan yang memadai didefinisikan sebagai beban terfaktor. Beban terfaktor adalah beban layan dikali dengan faktor yang sesuai untuk kebutuhan kekuatan kecuali kecuali beban angin dan gempa yang sudah ditentukan sebagai beban kekuatan dalam ASCE / SEI 7. Terminologi beban faktor menjelaskan di mana beban faktor diterapkan pada nilai beban, momen, atau geser tertentu seperti yang digunakan dalam ketentuan standar.
Beban, hidup (*Load*, *live*) — (a) Beban tidak tetap yang bekerja pada struktur tapi sepertinya terjadi selama masa layan struktur (tidak termasuk beban lingkungan); atau (b) beban yang memenuhi kriteria khusus yang ditemukan dalam standar umum bangunan tanpa faktor beban.	
Beban, hidup atap (*Load*, *roof live*) — Beban pada atap yang dihasilkan dari: (a) selama pemeliharaan akibat pekerja, peralatan dan bahan bangunan dan (b) selama umur struktur oleh obyek bergerak seperti tanaman (*planters*) atau perlengkapan dekorasi yang sejenis lainnya yang tidak terkait dengan penghunian; atau beban yang memenuhi kriteria khusus yang ditemukan dalam standar umum bangunan tanpa faktor beban	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
Beban, layan (*Load*, *service*) — Beban yang ditetapkan oleh tata cara bangunan gedung umum dimana Standar ini merupakan bagiannya (tanpa faktor beban).	
Beban, mati (*Load*, *dead*) — Berat mati yang ditumpu oleh komponen struktur, sebagaimana didefinisikan oleh tata cara bangunan gedung umum dimana Standar ini merupakan bagiannya (tanpa faktor beban).	
Beban, terfaktor (*Load*, *factored*) — Beban, dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.	
Beton (Concrete) — Campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture).	
Beton bertulang (*Reinforced concrete*) — Beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan dalam standar ini	**Beton bertulang (*Reinforced concrete*)** — termasuk elemen-elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan nonprategang.
Beton bertulangan serat baja (*Steel fiber-reinforced concrete*) — Beton yang mengandung serat baja yang berorientasi acak tersebar.	
Beton, kekuatan tekan yang disyaratkan (*Concrete*, *specified compressive strength of*), (f_c') — Kekuatan tekan beton yang digunakan dalam desain dan dievaluasi sesuai dengan standar ini, dinyatakan dalam megapascal (MPa). Bilamana f_c' dalam akar kuadrat, hanya nilai numeriknya yang dipakai, dan hasil akarnya mempunyai satuan megapascal (MPa).	
Beton, nonprategang (*Concrete*, *nonprestressed*) — Beton bertulang dengan tulangan non prategang minimum atau untuk pelat dua arah dengan tulangan prategang kurang dari tulangan minimum.	**Beton, nonprategang (*Concrete*, *nonprestressed*)** — Beton bertulang non prategang umumnya terdiri dari tulangan non prategang. Pelat prategang dua arah mensyaratkan level minimum tegangan tekan beton akibat prategang efektif sesuai 8.6.2.1. Pelat dua arah dengan level prategang minimum ataupun kurang disyaratkan untuk didesain sebagai beton non prategang.
Beton, normal (*Concrete*, *normalweight*) — Beton yang mengandung hanya agregat yang memenuhi ASTM C33M.	**Beton, normal (*Concrete*, *normalweight*)** — berat beton normal tipikal memiliki kepadatan (berat jenis) antara 2155 dan 2560 kg/m^3, dan normalnya diambil nilai sebesar 2320 hingga 2400 kg/m^3.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Beton, pasir ringan (*Concrete*, *sand-lightweight*) — Beton ringan yang mengandung hanya agregat halus berat normal yang memenuhi ASTM C33M dan hanya agregat ringan yang memenuhi ASTM C330M.	**Beton, pasir ringan (*Concrete, sand-lightweight*)** — Menurut terminologi standar, beton pasir-ringan adalah beton ringan dimana agregat halusnya digantikan pasir semua. Definisi ini mungkin tidak sesuai dengan penggunaan oleh beberapa pemasok material atau kontraktor dimana mayoritas, tapi tidak semuanya, semua agregat halus digantikan dengan dengan pasir. Untuk penggunaan ketentuan standar yang tepat, batas penggantian harus dinyatakan, dengan interpolasi jika penggantian pasir secara parsial digunakan.
Beton polos (*Plain concrete*) — Beton struktur tanpa tulangan atau dengan tulangan kurang dari jumlah minimum yang ditetapkan untuk beton bertulang.	**Beton polos (*Plain concrete*)** — Keberadaan tulangan, non prategang atau prategang, tidak termasuk elemen yang diklasifikasikan sebagai beton polos, dimana persyaratan pada Pasal 14 terpenuhi.
Beton pracetak (*Precast concrete*) — Elemen beton struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. **Beton prategang (*Prestressed concrete*)** — Beton bertulang dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban, dan untuk pelat dua arah menggunakan dengan sekurang-kurangnya tulangan minimum prategang.	**Beton prategang (*Prestressed concrete*)** — Kelas elemen lentur prategang didefinisikan dalam 24.5.2.1. pelat prategang dua arah mensyaratkan level minimum tegangan tekan beton akibat prategang efektif sesuai dengan 8.6.2.1. Meskipun perilaku elemen dengan tendon prategang tanpa lekatan dapat bervariasi dari elemen dengan tulangan prategang terlekat menerus, beton prategang terlekat dan tidak terlekat digabungkan dengan beton non prategang dalam istilah generik "beton bertulang." Ketentuan umum untuk kedua beton prategang dan nonprategang terintegrasi untuk menghindari tumpang tindih dan ketentuan yang saling bertentangan.
Beton, ringan (*Concrete*, *lightweight*) — Beton yang mengandung agregat ringan dan densitas setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m^3. **Beton, semua agregat ringan (*Concrete*, *all-lightweight*)** — Beton ringan yang mengandung hanya agregat kasar dan halus ringan yang memenuhi ASTM C330M. **Beton struktural (*Structural concrete*)** — Semua beton yang digunakan untuk tujuan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
struktural termasuk beton polos dan bertulang. **Daerah sendi plastis (*Plastic hinge region*)** — Panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa, yang memanjang tidak kurang dari jarak h dari penampang kritis dimana pelelehan lentur berawal. **Dasar struktur (*Base of structure*)** — tingkat dimana pergerakan tanah horizontal akibat gempa diasumsikan disalurkan ke bangunan gedung. Tingkat ini tidak perlu sama dengan tingkat tanah. Lihat Pasal 21. **Densitas setimbang (*Equilibrium density*)** — Densitas beton ringan setelah keterbukaan terhadap kelembaban relatif sebesar 50 ± 5 persen dan suhu sebesar 23 ± 2 °C untuk jangka waktu yang cukup untuk mencapai kerapatan konstan (lihat ASTM C567). **Diafragma struktural (*Structural diaphragm*)** — Komponen struktur, seperti pelat lantai atau atap, yang menyalurkan gaya yang bekerja dalam bidang komponen struktur ke elemen vertikal sistem penahan gaya gempa. Diafragma struktur termasuk *chords* dan kolektor sebagai bagian dari diafragma. **Dinding (*Wall*)** — Komponen struktur yang didesain menahan beban aksial, beban lateral atau keduanya dimana rasio panjang arah horizontal terhadap ketebalannya lebih besar dari 3, digunakan untuk melingkupi atau memisahkan ruang. **Dinding struktural biasa beton polos (*Ordinary structural plain concrete wall*)** — Dinding yang memenuhi persyaratan Pasal 14. **Dinding struktural (*Structural wall*)** — Dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser adalah dinding struktur. **Dinding struktural biasa beton bertulang (*Ordinary reinforced concrete structural wall*)** — Dinding yang memenuhi persyaratan Pasal 11 **Dinding struktural khusus (*Special structural wall*)** — Dinding cor di tempat yang memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.10 atau dinding pracetak yang memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.11.	**Dinding struktural khusus (*Special structural wall*)** — Persyaratan pada 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.11 dimaksudkan untuk menghasilkan dinding struktural pracetak khusus yang memiliki kekuatan dan ketangguhan minimum setara dengan dinding

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	struktural beton bertulang khusus cetak di tempat.
Dinding struktural menengah beton pracetak (*Intermediate precast structural wall*) — Dinding yang memenuhi persyaratan 18.5.	**Dinding struktural menengah beton pracetak (*Intermediate precast structural wall*)** — Persyaratan 18.5 dimaksudkan untuk menghasilkan struktur dinding pracetak menengah yang memiliki kekuatan dan ketangguhan minimum setara dengan struktural dinding beton bertulang biasa cor di tempat. Dinding beton pracetak yang tidak memenuhi persyaratan 18.5 dianggap memiliki daktiltas dan integritas struktural kurang dari dinding struktural pracetak menengah.
Diskontinuitas (*Discontinuity*) — Perubahan mendadak pada geometri atau pembebanan.	
Dokumen perencanaan (*Construction documents*) — Dokumen tertulis dan dalam bentuk gambar dan spesifikasi yang disiapkan atau disusun untuk menjelaskan lokasi, desain, bahan dan karakteristik fisik dari elemen dalam suatu proyek yang diperlukan untuk mendapatkan izin bangunan pada suatu proyek.	
Durabilitas *(Durability)* — Kemampuan suatu struktur atau komponen menahan kerusakan yang merusak kinerja atau membatasi masa pakai layanan struktur dalam lingkungan yang relevan dipertimbangkan dalam desain.	
Elemen baja, daktail (*steel element, ductile*) — elemen dengan perpanjangan kekuatan tarik sekurang-kurangnya 14 persen dan pengurangan area sekurang-kurangnya 30 persen; elemen baja yang memenuhi persyaratan ASTM A307 harus dianggap daktail; kecuali sebagaimana diubah oleh untuk efek gempa, batang tulangan ulir yang memenuhi persyaratan ASTM A615M, A706M, atau A955M harus dianggap sebagai elemen baja daktail.	**Elemen baja, daktail (*steel element, ductile*)** — Perpanjangan 14 persen harus diukur sepanjang panjang pengukur yang ditentukan dalam standar ASTM yang sesuai untuk baja. Karena kekhawatiran patah di potongan galur, harus diverifikasi bahwa galur tulangan ulir memenuhi persyaratan kekuatan dari 25.5.7.1.
Elemen baja, getas (*steel element, brittle*) — elemen dengan perpanjangan kekuatan tarik kurang dari 14 persen dan pengurangan area kurang dari 30 persen saat putus.	**Elemen baja, getas (*steel element, brittle*)** — Perpanjangan 14 persen seharusnya diukur sepanjang panjang pengukur yang ditentukan dalam yang sesuai Standar ASTM untuk baja.
Elemen kolektor (*Collector element*) — elemen yang bekerja secara tarik atau tekan aksial untuk menyalurkan gaya akibat gempa antara diafragma struktur dan elemen vertikal dari sistem penahan gaya seismik.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Elemen batas (*Boundary element*) — Bagian sepanjang dinding struktur dan tepi diafragma, termasuk tepi bukaan yang diperkuat dengan tulangan longitudinal dan transversal.	
Fraktil lima persen (*five percent fractile*) — istilah statistik yang berarti tingkat kepercayaan 90 % bahwa terdapat 95 % probabilitas kekuatan aktual melampaui kekuatan nominal.	**Fraktil lima persen (*five percent fractile*)**—Penentuan koefisien K_{05} terkait dengan fraksi 5 persen, $\bar{x} - K_{05}S_s$ tergantung pada jumlah uji, n, digunakan untuk menghitung rata-rata sampel, $\bar{x}$, dan deviasi standar sampel, S_s. Nilai kisaran K_{05}, sebagai contoh, dari 1,645 untuk $n = \infty$, hingga 2,010 untuk n = 40, dan 2,568 untuk n = 10. Dengan definisi fraktil 5 persen ini, kekuatan nominal dalam pasal 17 sama dengan kekuatan karakteristiknya di ACI 355.2 dan ACI 355.4.
Gaya *jacking* (*Jacking force*) — Pada beton prategang, gaya sementara yang dihasilkan oleh alat yang mengakibatkan tarik pada baja prategang.	
Ikat silang (*Crosstie*) — Batang tulangan menerus yang mempunyai kait gempa pada satu ujungnya dan kait tidak kurang dari 90 derajat dengan paling sedikit perpanjangan enam kali diameter pada ujung lainnya. Kait harus memegang batang tulangan longitudinal tepi. Kait 90 derajat dari dua kait silang berturutan yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama harus diseling ujung-ujungnya.	
Informasi desain (*Design information*) — informasi spesifik proyek untuk dimasukkan ke dalam dokumen konstruksi oleh pihak perencana ahli bersertifikat, sebagaimana berlaku.	
Inspeksi (*Inspection*) — Pengamatan, verifikasi dan dokumen bahan yang dibutuhkan, fabrikasi, ereksi atau penempatan komponen dan sambungan untuk menentukan pemenuhan sesuai dokumen perencanaaan dan standar yang dirujuk.	
Inspeksi berkala (*Inspection, periodic*) — Pengamatan paruh waktu atau berselang, verifikasi dan dokumentasi pekerjaan yang diperlukan di area dimana pekerjaan sedang berlangsung.	
Inspeksi berkelanjutan (*Inspection, continuous*) — Pengamatan terus menerus, verifikasi dan dokumentasi pekerjaan yang	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
diperlukan di area dimana pekerjaan sedang berlangsung.	
Integritas struktur (*Structural integritas*) — kemampuan struktur melalui kekuatan, redundansi, daktilitas dan detail penulangan untuk meredistribusi tegangan dan menjaga kestabilan keseluruhan jika kerusakan lokal atau tegangan berlebih yang signifikan terjadi.	
Integritas struktural (*Structural integritas*) — kemampuan yang didesain terhubung satu sama lain untuk memenuhi persyaratan kemampuan.	
Jarak tepi (*edge distance*) — Jarak dari tepi permukaan beton ke pusat angkur terdekat.	
***Joint* (*Joint*)** — Bagian struktur yang dipakai bersama pada komponen struktur yang berpotongan. Luas penampang efektif *joint* rangka momen khusus, A_j, untuk perhitungan kekuatan geser seperti yang didefinisikan dalam 21.7.4.1. Lihat Pasal 21.	***Joint* (*Joint*)** — luas efektif penampang *joint* rangka pemikul momen khusus, A_j, untuk perhitungan kekuatan geser sesuai 18.8.4.3.
***Joint* isolasi (*Isolation joint*)** — Pemisahan antara bagian struktur beton yang menyatu, umumnya bidang vertikal, di lokasi yang didesain untuk mengurangi gangguan terhadap kinerja struktur, namun membolehkan pergerakan relatif dalam tiga arah dan menghindari pembentukan retak di tempat lain dalam beton dan dimana semua atau sebagian tulangan terlekat dihentikan.	
***Joint* kontraksi (*Contraction joint*)** — Takikan yang dicetak, digergaji, atau dipahat dalam struktur beton untuk menciptakan bidang perlemahan dan mengarahkan lokasi retak akibat dari perubahan dimensi bagian struktur lainnya.	
Kait seismik (*Seismic hook*) — Kait pada sengkang, atau pengikat silang yang mempunyai bengkokan tidak kurang dari 135 derajat, kecuali sengkang tertutup melingkar harus mempunyai bengkokan tidak kurang dari 90 derajat. Kait harus mempunyai perpanjangan $6d_b$ (tetapi tidak kurang dari 75 mm) yang mengikat tulangan longitudinal dan menjorok ke bagian dalam sengkang atau sengkang tertutup.	
Kategori desain seismik (*Seismic design category*) — Klasifikasi yang ditetapkan untuk struktur berdasarkan pada kategori huniannya dan keparahan pergerakan tanah gempa rencana di lokasi, sebagaimana	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
didefinisikan oleh standar umum bangunan. Juga dikenal dengan singkatan KDS.	
Kedalaman penanaman efektif *(effective embedment depth)* — Kedalaman keseluruhan dimana angkur menyalurkan gaya ke atau dari beton di sekelilingnya; kedalaman penanaman efektif biasanyan akan menjadi kedalaman kegagalan permukaan beton dalam kondisi tarik; untuk angkur berkepala dan *stud* berkepala yang dicor, kedalaman penanaman efektif diukur dari permukaan kontak tumpuan kepalanya.	**Kedalaman penanaman efektif *(effective embedment depth)*** — Kedalaman penanaman efektif untuk berbagai tipe angkur diperlihatkan dalam Gambar R2.1.
Kekuatan, desain (*Strength*, *design*) — Kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ.	
Kekuatan, nominal (*Strength*, *nominal*) — Kekuatan komponen struktur atau penampang yang dihitung sesuai dengan ketentuan dan asumsi metode desain kekuatan Standar ini sebelum penerapan faktor eduksi kekuatan.	**Kekuatan, nominal (*Strength*, *nominal*)** — Nilai nominal atau tertentu dari kekuatan material dan dimensi yang digunakan dalam perhitungan kekuatan nominal. *Subscript* n digunakan untuk menunjukkan kekuatan nominal; misalnya, kekuatan aksial nominal $\boldsymbol{P_n}$, kekuatan momen nominal, $\boldsymbol{M_n}$, dan kekuatan geser nominal $\boldsymbol{V_n}$. Untuk tambahan penjelasan tentang konsep dan nomenklatur untuk kekuatan desain, lihat Penjelasan Pasal 22.
Kekuatan, perlu (*Strength*, *required*) — Kekuatan komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam terkait dalam kombinasi seperti yang ditetapkan dalam standar ini.	**Kekuatan, perlu (*Strength*, *required*)** — *Subscript* $\boldsymbol{u}$ hanya digunakan untuk menunjukkan kekuatan yang diperlukan; misalnya, kekuatan aksial perlu $\boldsymbol{P_u}$, kekuatan momen perlu $\boldsymbol{M_u}$, dan kekuatan geser perlu $\boldsymbol{V_u}$, dihitung dari beban dan gaya terfaktor yang bekerja. Persyaratan dasar untuk desain kekuatan bisa diekspresikan sebagai berikut: kekuatan desain ≥ kekuatan perlu; misalnya, $\phi \boldsymbol{P_n} \geq \boldsymbol{P_u}$; $\phi \boldsymbol{M_n} \geq \boldsymbol{M_u}$; $\phi \boldsymbol{V_n} \geq \boldsymbol{V_u}$. Untuk tambahan penjelasan tentang konsep dan nomenklatur untuk kekuatan desain, lihat Penjelasan Pasal 22.
Kekuatan ambrol muka samping (*Side face blowout strength*) — kekuatan angkur dengan penanaman dalam dan penutup muka samping tipis dimana pengelupasan (*spalling*) terjadi pada sisi muka di sekeliling kepala yang ditanam tanpa terjadi jebol pada pemukaan beton bagian atas.	
Kekuatan cabut angkur *(anchor pullout strength)* — kekuatan perangkat angkur atau komponen utama dari perangkat yang meluncur keluar beton tanpa merusak beton sekitarnya dalam porsi yang berarti.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Kekuatan jebol, beton (*breakout strength, concrete*) — kekuatan pada volume beton yang mengelilingi angkur atau kelompok angkur yang terpisah dari komponen struktur.	
Kekuatan jungkit beton (*pryout strength, concrete*) — kuat bongkahan beton di belakang angkur pendek, kaku yang terlepas di arah yang berlawanan dari gaya geser.	
Kekuatan leleh (*Yield strength*) — Kekuatan leleh atau titik leleh minimum tulangan yang ditetapkan. Kekuatan leleh atau titik leleh harus ditetapkan dalam kondisi tarik menurut standar ASTM yang sesuai sebagaimana dimodifikasi dalam Standar ini.	
Kekuatan tarik belah (*Splitting tensile strength*) (f_{ct}) — Kekuatan tarik beton yang ditentukan sesuai dengan ASTM C496M seperti dijelaskan dalam ASTM C330M.	
Kelompok angkur *(anchor, group)* — sejumlah angkur sejenis yang kira-kira ditanam dengan kedalaman yang sama dengan jarak s antar angkur yang berdampingan sedemikian rupa menjadi terproyeksi tumpang tindih.	**Kelompok angkur *(anchor, group)*** — Untuk semua potensial mode kegagalan (baja, beton jebol, cabut, ambrol sisi samping, dan jungkit), hanya angkur yang rentan terhadap mode kegagalan tertentu harus dipertimbangkan ketika mengevaluasi kekuatan yang terkait dengan mode kegagalan itu.
Kepala kolom (*column capital*) — pembesaran bagian atas kolom beton yang berada tepat di bawah pelat atau *drop panel* yang dicetak monolit dengan kolom.	
Kolom (*Column*) — komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser. Lihat **rangka momen.**	
Kombinasi beban desain *(Design load combination)* — kombinasi beban dan gaya terfaktor.	
Komponen struktur lentur beton komposit (*Composite concrete flexural members*) — Komponen struktur lentur elemen beton pracetak atau beton cor di tempat, atau keduanya, yang dibangun dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sedemikian rupa sehingga semua elemen bereaksi terhadap beban sebagai suatu kesatuan.	
Konstruksi dua arah (*two way construction*) — komponen struktur yang didesain mampu memikul beban lentur dalam	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dua arah; beberapa pelat dan fondasi dapat dianggap sebagai konstruksi dua arah.	
Konstruksi satu arah *(one way construction)* — komponen yang didesain memikul beban lentur satu arah, lihat konstruksi dua arah ***(two way construction).***	**Konstruksi satu arah *(one way construction)*** — Joist, balok, balok gelagar dan beberapa pelat dan fondasi dianggap sebagai konstruksi satu arah.
Lintasan beban *(Load path)* — Urutan komponen dan sambungan yang didesain untuk menyalurkan beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi tertentu sebagimana ditetapkan dalam standar ini, dari titik bekerja atau titik awal melalui komponen struktur ke lokasi tumpuan atau fondasi.	
Material campuran tambahan (*Admixture*) — Material selain air, agregat, atau semen hidrolis, yang digunakan sebagai bahan penyusun beton dan ditambahkan pada beton sebelum atau selama pencampurannya untuk memodifikasi properti.	
Material sementisius (*Cementitious materials*) — material sementisius yang disyaratkan dalam Pasal 3, yang mempunyai nilai pengikatan bilamana digunakan pada beton baik oleh material tersebut sendiri, seperti semen Portland, semen hidrolik campuran, dan semen ekspansif, atau bahan semacam itu yang dikombinasikan dengan abu terbang (*fly ash*), pozzolan alami atau bahan alam terkalsinansi lainnya, silica fume, dan/atau slag tanur (*blast-furnace slag*) berbutir.	
Model *strut and tie* (*strut and tie model*) — model rangka batang komponen struktur atau zona D pada komponen struktur, terdiri dari *strut* dan *tie* yang terhubung pada nodal dan mampu mentransfer beban terfaktor ke tumpuan atau ke zona-B terdekat.	
Modulus elastisitas (*Modulus of elasticity*) — Rasio tegangan normal terhadap regangan terkait untuk tegangan tarik atau tekan di bawah batas proporsional material.	
Nodal (*node*) — Titik dalam model *strut and tie* yang sumbu *strut, tie* dan gaya terpusat bekerja pada *joint* yang berpotongan.	
Panel drop (*Drop panel*) — Proyeksi di bawah pelat yang digunakan untuk mengurangi jumlah tulangan negatif sepanjang kolom atau tebal pelat perlu minimum, dan untuk meningkatkan kekuatan geser pelat.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
Panjang bentang (*Span length*) — jarak antara tumpuan.	
Panjang penanaman (*Embedment length*) — Panjang tulangan tertanam yang disediakan melebihi penampang kritis.	
Panjang penyaluran (*Development length*) — Panjang tulangan tertanam, termasuk strand pratarik, yang diperlukan untuk mengembangkan kekuatan desain tulangan pada penampang kritis.	
Panjang ulur (*Stretch* length) — Panjang angkur, memanjang menembus beton dimana ini diangkur, angkur mengalami beban tarik penuh dan untuk area penampang adalah minimum dan konstan.	**Panjang ulur (*Stretch* length)** — Panjang angkur yang berelongasi inelastik dirancang untuk terjadi akibat beban gempa. Contoh yang menggambarkan panjang ulur ditunjukkan pada Gambar R17.2.3.4.3.
Panjang transfer (*Transfer length*) — Panjang strand pratarik tertanam yang disyaratkan untuk menyalurkan prategang efektif ke beton.	
Pascapenarikan (*Post-tensioning*) — Metode prategang dimana baja prategang ditarik setelah beton mengeras.	
Pedestal (*Pedestal*) — Komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil kurang dari atau sama dengan 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Untuk komponen stuktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil adalah rata-rata dimensi atas dan bawah dari sisi yang lebih kecil.	
Pekerjaan (*Work*) — Konstruksi keseluruhan atau bagian-bagian yang dapat diidentifikasi secara terpisah yang merupakan bagian daripadanya yang disyaratkan untuk dilengkapi menurut dokumen-dokumen kontrak.	
Pelengkap angkur *(Attachment)* — rakitan struktural pada muka beton, yang menyalurkan beban ke atau menerima beban dari angkur.	
Penampang terkontrol tarik (*Tension-controlled section*) — Penampang dimana regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh pada saat kuat nominal lebih besar dari atau sama dengan 0,005.	
Penampang terkontrol tekan (*Compression-controlled section*) — Penampang dimana regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh pada kuat nominal adalah kurang dari atau sama dengan batas regangan terkontrol tekan.	
Penanaman (*Embedments*) — Sesuatu yang ditanam dalam beton, di luar tulangan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
seperti didifinisikan dalam Pasal 20 dan angkur yang didefinisikan dalam Pasal 17. Tulangan atau angkur yang dilas, dibaut atau disambungkan dengan cara lain ke sesuatu yang ditanamkan untuk memperkuat yang disambung, termasuk bagian penanaman.	
Penutup geser (*Shear cap*) — Proyeksi di bawah pelat yang digunakan untuk meningkatkan kuat geser pelat.	
Perangkat angkur (*Anchorage device*) — pada pascapenarikan, perangkat keras yang digunakan untuk menyalurkan gaya pascatarik dari baja prategang ke beton.	**Perangkat angkur**— Kebanyakan perangkat anchorage untuk pascatarik adalah perangkat buatan standar yang tersedia secara komersial. Dalam beberapa kasus, detail tidak standar atau perakitan dikembangkan dengan menggabungkan berbagai *wedges* dan *wedges plates* untuk pengangkuran tulangan prategang. Baik perangkat angkur standar dan nonstandar mungkin diklasifikasikan sebagai perangkat angkur dasar atau perangkat angkur khusus sebagaimana didefinisikan dalam standar ini dan AASHTO LRFDUS.
Perangkat angkur, *khusus (anchorage device*, *adhesive)* — perangkat pengangkuran yang memenuhi pengujian berdasarkan 25.9.3.1 (c).	**Perangkat angkur, khusus** — Perangkat jangkar khusus adalah perangkat apapun (monostrand atau multistrand) yang tidak relevan dengan tegangan landasan dengan PTI atau AASHTO LRFDUS, dan jika sesuai, terkait persyaratan kekakuan. Umumnya perangkat angkur *multi bearing surface* yang dipasarkan secara komersil adalah perangkat angkur spesial. Sebagaimana ditentukan dalam 25.9.3, perangkat tersebut hanya dapat digunakan jika telah memenuhi pengujian sesuai dengan persyaratan AASHTO. Pemenuhan persyaratan pengujian ini biasanya dilakukan oleh produsen perangkat.
Perangkat angkur *strand* majemuk dasar (*Basic multistrand anchorage device*) — perangkat angkur yang digunakan dengan strand majemuk, batang tulangan, atau kawat, atau dengan batang tulangan tunggal lebih besar dari diameter 15 mm, yang memenuhi 25.8.1, 25.8.2 dan 25.9.3.1 (b).	
Perangkat angkur *strand* tunggal dasar (*Basic monostrand anchorage device*) — perangkat angkur yang digunakan dengan semua strand tunggal atau batang diameter 15 mm atau lebih kecil yang memenuhi 25.8.1, 25.8.2 dan 25.9.3.1 (a).	**Perangkat angkur, dasar** — Perangkat yang sangat proporsional yang dapat diperiksa secara analitik untuk pemenuhan persyaratan tegangan dan kekakuan bearing tanpa harus menjalani program uji penerimaan yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	diperlukan untuk perangkat angkur khusus.
Perpindahan desain (*Design displacement*) — perpindahan lateral total yang diperkirakan untuk gempa berbasis desain.	**Perpindahan desain (*Design displacement*)** — Perpindahan desain adalah sebuah indeks pergeseran lateral maksimum yang dipertimbangkan dalam desain untuk gempa dasar desain. Dalam dokumen semacam ASCE / SEI 7 dan *International Building Code*, perpindahan desain dihitung menggunakan analisis elastis linier statis atau dinamis terhadap standar kasi spesifik yang memperhitungkan efek penampang retak, efek torsi, efek gaya vertikal yang bekerja melalui perpindahan lateral, dan faktor modifikasi untuk memperhitungkan respons inelastis yang diharapkan. Pergeseran desain umumnya lebih besar dari perpindahan yang dihitung dari gaya tingkat desain yang diterapkan ke model elastis-linear bangunan.
Persyaratan pemenuhan *(compliance requirements)* — persyaratan dalam standar yang diminta kepada kontraktor untuk dimasukkan dalam dokumen perencanaan oleh perencana ahli bersertifikat sebagaimana berlaku.	**Persyaratan pemenuhan *(compliance requirements)*** — Walaupun umumnya ditujukan pada kontraktor, persyaratan pemenuhan juga umum digunakan oleh pihak-pihak lain yang terlibat dan suatu proyek.
Petunjuk pemasangan milik pabrikan *(Manufacturer's Printed Installation Instruction)* — Petunjuk yang disediakan dalam kemasan untuk pemasangan angkur *adhesif* yang benar dalam berbagai kondisi pemasangan.	
Pihak yang berwenang (*Building official*) — dinas atau pihak berwenang atau seseorang yang ditunjuk bertanggung jawab dengan administrasi dan penegakan aturan Standar ini. Istilah seperti komisi bangunan atau pengawas bangunan juga yang dimaksud sebagai pejabat bangunan yang berwenang dalam standar ini atau istilah lainnya yang mempunyai kewenangan yang sesuai.	
Pilar dinding (*Wall pier*) — Suatu segmen dinding vertikal dalam suatu dinding struktural, yang dibatasi oleh dua bukaan atau oleh sebuah bukaan dan sebuah tepi, dengan rasio panjang horizontal terhadap tebal dinding (ℓ_w/b_w) kurang dari atau sama dengan 6,0, dan rasio tinggi bersih terhadap panjang horizontal (h_w/ℓ_w) lebih besar dari atau sama dengan 2,0.	**Pilar dinding (*Wall pier*)** — Pilar dinding adalah segmen dinding vertikal dengan dimensi dan penulangan yang dimaksudkan untuk menghasilkan geser perlu yang dibatasi oleh kelelehan lentur penulangan vertikal pada pilar.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Pipa tanam — pipa yang ditanam, conduit dan selonsong.	
Pratarik (*Pretensioning*) — Metode prategang dimana baja prategang ditarik sebelum beton dicor.	
Prategang efektif (*Effective prestress*) — Tegangan yang tersisa dalam baja prategang setelah semua kehilangan terjadi di 20.3.2.6 telah terjadi.	
Rangka-batang struktural (*Structural truss*) — Gabungan komponen struktur beton bertulang yang terutama menerima beban aksial.	
Rasio air-bahan sementisius (*water-cementitious material ratio*) — rasio massa air, tidak termasuk yang terserap dalam agregat, dengan masa bahan sementisius dalam campuran, dinyatakan sebagai desimal.	
Rasio *drift* tingkat desain (*Design story drift ratio*) — Perbedaan relatif perpindahan desain antara bagian atas dan bawah suatu tingkat, dibagi dengan tinggi tingkat.	
Regangan tarik neto (*Net tensile strain*) — Regangan tarik pada saat kuat nominal tidak termasuk regangan akibat prategang efektif, rangkak, susut, dan suhu.	
Sambungan (*Connection*) — Daerah yang menghubungkan dua atau lebih komponen struktur. Sambungan juga merujuk pada daerah yang menghubungkan komponen struktur dimana satu atau lebih merupakan pracetak.	
Sambungan daktail (*Ductile connection*) — Sambungan satu atau lebih komponen pracetak yang mengalami pelelehan sebagai akibat dari perpindahan gempa desain.	
Sambungan kuat (*Strong connection*) — Sambungan satu atau lebih komponen pracetak yang tetap elastis sementara komponen struktur yang menyatu mengalami pelelehan sebagai akibat dari perpindahan gempa desain.	
Segmen dinding (*Wall segment*) — bagian dinding yang dipisahkan oleh bukaan vertikal atau horizontal atau tepi.	
Segmen dinding, horizontal (*Wall segment, horizontal*) — Suatu segmen dinding struktural, yang dibatasi secara vertikal oleh dua bukaan atau oleh sebuah bukaan dan sebuah tepi.	**Segmen dinding, horizontal (*Wall segment, horizontal*)** — segmen dinding horizontal ditunjukkan dalam Gambar R18.10.4.5.
Segmen dinding, vertikal (*Vertical wall segment*) — Suatu segmen dinding struktural, yang dibatasi secara horizontal	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
oleh dua bukaan atau oleh sebuah bukaan dan sebuah tepi. Pilar dinding merupakan segmen dinding vertikal.	
Selimut, beton yang disyaratkan (*Cover*, *specified concrete*) — Jarak antara permukaan terluar tulangan yang tertanam dan permukaan luar terdekat beton yang ditunjukkan dalam dokumen kontrak.	
Selongsong (*Duct*) — Saluran (polos atau bergelombang) yang mengakomodasi pemasangan baja prategang pascatarik.	
Selongsong jarak (*distance sleeve*) — Selongsong (*sleeve*) yang membungkus bagian pusat angkur dengan takikan (*undercut*), angkur yang bisa memanjang (*expansion*) yang dikendalikan punter atau yang bisa memanjang (*expansion*) yang dikendalikan perpindahan tetapi tidak bisa memanjang.	
Selonsong yang bisa memanjang (*expansion sleeve*) — bagian luar dari expansion anchor uang dipaksa keluar oleh bagian tengah, baik dengan cara torsi atau impak, untuk menahan sisi-sisi lubang yang sudah berlubang. Lihat angkur, *expansion.*	
Selubung (*Sheathing*) — Material yang melingkupi baja prategang yang mencegah lekatan baja prategang dengan beton yang mengelilinginya, menyediakan perlindungan korosi, dan mengandung pelapis (*coating*) pencegah korosi.	**Selubung (*Sheathing*)** — Biasanya, selubung adalah kontinu, tanpa batas, berbahan bahan polietilen densitas tinggi yang diekstrusi secara langsung pada tulangan prategang yang dilapisi.
Sengkang (*Stirrup*) — Tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam komponen struktur; umumnya batang, kawat, atau tulangan kawat las baik kaki tunggal atau dibengkok menjadi L, U, atau bentuk persegi dan ditempatkan tegak lurus terhadap atau bersudut terhadap tulangan longitudinal. (Istilah “sengkang” biasanya diberikan pada tulangan transversal dalam komponen struktur lentur dan istilah “pengikat” pada tulangan transversal dalam komponen struktur tekan.) Lihat juga **Pengikat**.	**Sengkang (*Stirrup*)** — Istilah "sengkang" biasanya digunakan untuk tulangan transversal pada balok atau pelat dan istilah sengkang ikat atau dan istilah "sengkang tertutup"" untuk penulangan transversal pada elemen tekan.
Sengkang ikat (*Tie*) — (a) Lingkupan batang tulangan atau kawat yang melingkupi tulangan longitudinal; Batang atau kawat gulungan menerus berbentuk lingkaran, persegi, atau bentuk poligon lainnya tanpa sudut dalam dapat diterima. Lihat juga sengkang, sengkang tertutup; (b). elemen tarik pada model *strut and tie.*	
Sengkang pengekang (*Hoop*) — Pengikat tertutup atau pengikat yang digulung secara	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
menerus. Pengikat tertutup dapat terbuat dari berbagai elemen tulangan yang masing-masing mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya. Pengikat yang digulung secara menerus harus mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya. Lihat 25.7.4.	
Sisipan khusus (*Speciality insert*) — pradesain dan prafabrikasi angkur tanam khususnya didesain untuk pemasangan sambungan menggunakan baut atau slot.	**Sisipan khusus (*Speciality insert*)** — masukan khusus adalah perangkat yang sering digunakan untuk penanganan, transportasi, pemasangan, dan elemen angkur; masukan khusus tidak termasuk dalam lingkup standar ini.
Sistem pemikul gaya seismik (*Seismic-force-resisting system*) — Bagian struktur yang didesain untuk menahan gaya gempa rencana yang disyaratkan oleh tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal menggunakan ketentuan yang sesuai dan kombinasi beban.	
Sistem rangka pemikul momen (*Moment frame*) — Rangka dimana komponen balok, pelat, kolom dan *joint* menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial.	
Sistem rangka pemikul momen biasa (*Ordinary moment frame*) — Rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak dan memenuhi persyaratan 18.3.	
Sistem rangka pemikul momen khusus (*Special moment frame*) — Rangka balok kolom yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8. Untuk rangka balok kolom pracetak memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.9.	
Sistem rangka pemikul momen menengah (*Intermediate moment frame*) — Rangka balok kolom atau rangka kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat dan memenuhi persyaratan 18.4.	
Sistem seismik khusus (*special seismic system*) — sistem struktur yang menggunakan rangka momen khusus, sistem dinding khusus atau keduanya.	
Spasi (*spacing*) — jarak pusat ke pusat antara hal yang berdekatan seperti tulangan longitudinal, tulangan transversal, tulangan prategang atau angkur.	
Spasi bersih (*spacing clear*) — dimensi terkecil antara permukaan terluar hal yang berdekatan.	
***Strut* (*strut*)** — komponen tekan dalam model *strut and tie* yang menggambarkan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
resultan parallel atau *fan-shape* daerah tekan.	
***Strut*, *bottle shape* (*strut, bottle shape*)** — *strut* yang melebar pada bagian tengah disbanding bagian ujungnya.	
***Stud* berkepala (*Headed stud*)** — Angkur baja yang memenuhi persyaratan AWS D1.1 dan ditempelkan ke pelat baja atau sejenisnya dengan proses pengelasan *stud arc* sebelum cetak; juga dirujuk sebagai stud berkepala dilas (*welded headed stud*).	
Tendon (*Tendon*) — Dalam penerapan pratarik, tendon merupakan baja prategang. Dalam penerapan pascatarik, tendon merupakan gabungan lengkap yang terdiri dari angkur, baja prategang, dan selubung (*sheathing*) dengan pelapis (*coating*) untuk penerapan tak terlekat atau pipa dengan graut untuk penerapan terlekat.	
Tendon eksternal (*tendon, external*) — Tendon luar ke penampang komponen beton pada penerapan pascatarik.	**Tendon eksternal (*tendon, external*)** — pada penggunaan pascatarik yang baru ataupun eksisting, tendon luar yang seluruhnya atau sebagian dari elemen penampang beton, atau di dalam *box section*, dan terpasang pada perangkat angkur dan poin penyimpangan.
Tendon tanpa lekatan (*Unbonded tendon*) — Tendon dimana baja prategang dicegah dari lekatan dengan beton dan bebas untuk bergerak relatif terhadap beton. Gaya prategang secara permanen ditransfer ke beton di ujung tendon oleh angkur saja.	
Tendon terlekat (*bonded tendon*) — Tendon dimana baja prategang melekat dengan beton melalui selongsong yang di*grouting*, tertanam dalam penampang beton.	
Tinggi efektif penampang (*Effective depth of section*) — Jarak yang diukur dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.	
Transfer (*Transfer*) — Aksi pentransferan tegangan dalam baja prategang dari *jack* atau landasan pratarik ke komponen struktur beton.	
Tulangan (*Reinforcement*) — Eleman baja atau elemen yang ditanam dalam beton dan memenuhi 20.2 hingga 20.5. Tulangan prategang di luar tendon juga dapat dianggap sebagai tulangan.	
Tulangan, ayaman batang tulangan baja ulir las (*reinforcement, welded deformed steel bar mat*) — ayaman yang memenuhi 20.2.1.5 yang terdiri dari 2 lapis batang ulir	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pada sudut kanan satu sama lain dilas di pertemuan.	
Tulangan, angkur (*Reinforcement, anchor*) — tulangan yang digunakan untuk menyalurkan beban desain dari angkur ke komponen struktur.	**Tulangan, angkur (*Reinforcement, anchor*)** — Angkur tulangan didesain dan didetailkan secara khusus dengan tujuan mentransfer beban angkur ke elemen. *Hair pin* umumnya digunakan untuk tujuan ini (lihat 17.4.2.9 dan 17.5.2.9); namun, konfigurasi lain yang dapat mentransfer beban angkur secara efektif dapat diterima.
Tulangan, kawat dilas (*reinforcement, welded wire*) — kawat polos atau ulir yang difabrikasi dalam bentuk lembaran atau gulungan yang memenuhi 20.2.1.7.	
Tulangan nonprategang (*reinforcement, non prestressed*) — Tulangan dengan lekatan yang bukan prategang.	
Tulangan polos (*Plain reinforcement*) — Tulangan atau kawat yang memenuhi 20.2.1.4 atau 20.2.1.7 yang tidak memenuhi definisi tulangan ulir.	
Tulangan prategang (*reinforcement, prestressed*) — Tulangan prategang yang telah ditarik untuk menanam gaya pada beton.	
Tulangan, prategang dengan lekatan (*Reinforcement, bonded prestressed*) — tulangan pratarik atau prategang dalam tendon dengan lekatan.	
Tulangan spiral (*Spiral reinforcement*) — Tulangan yang digulung menerus dalam bentuk lilitan melingkar.	
Tulangan *stud* geser berkepala (*Headed shear stud reinforcement*) — Tulangan yang terdiri dari *stud* berkepala individu, atau kelompok *stud*, dengan angkur yang disediakan dengan kepala di setiap ujungnya atau oleh rel dasar yang dipakai bersama terdiri dari pelat atau profil baja.	
Tulangan tambahan (*reinforcement, supplementary*) — Tulangan yang berfungsi menahan kemungkinan jebolnya beton tapi tidak didesain untuk menyalurkan beban desain dari angkur ke komponen struktur.	**Tulangan tambahan (*reinforcement, supplementary*)** — Tulangan tambahan memiliki konfigurasi dan penempatan yang mirip dengan penulangan angkur tetapi tidak dirancang khusus untuk transfer beban dari angkur ke elemen. Sengkang yang digunakan untuk penulangan geser, dapat jatuh ke dalam kategori ini.
Tulangan tarik terjauh (*Extreme tension reinforcement*) — lapisan tulangan (prategang dan nonprategang) yang terjauh dari serat tekan terjauh.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
Tulangan ulir (*Deformed reinforcement*) — Batang tulangan ulir, anyaman batang tulangan, kawat ulir, dan tulangan kawat las yang memenuhi 20.2.1.3, 20.2.1.5, atau 20.2.1.7, tidak termasuk kawat polos.	**Tulangan ulir (*Deformed reinforcement*)** —tulangan ulir didefinisikan, sebagai yang memenuhi spesifikasi penulangan dalam standar. Tidak ada penulangan lain yang memenuhi syarat. Definisi ini memungkinkan pernyataan yang akurat tentang panjang penyaluran. Batang atau kawat tidak memenuhi persyaratan deformasi atau kawat baja dilas tidak memenuhi persyaratan jarak adalah "penulangan polos," untuk tujuan standar, dan mungkin hanya digunakan untuk spiral.
Zona B *(B-region)* — bagian dari komponen struktur yang masuk akal diasumsikan bahwa tegangan akibat lentur bervariasi melalui penampang. **Zona D *(D-region)*** — bagian dari komponen dalam jarak h dari diskontinuitas gaya atau diskontinuitas geometric. **Zona nodal *(nodal zone)*** — volume beton di sekeliling node yang diasumsikan menyalurkan gaya *strut and tie* melalui node.	
Zona pengangkuran (*Anchorage zone*) — pada komponen struktur pascatarik, bagian komponen struktur dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarkan secara lebih merata pada seluruh penampang. Besarnya sama dengan dimensi yang terbesar dari penampang. Untuk alat angkur yang berlokasi jauh dari ujung komponen struktur, zona angkur termasuk daerah terganggu di depan dan di belakang alat angkur.	**Zona pengangkuran (***Anchorage zone*) — Pada elemen pascatarik, bagian elemen dimana gaya pratarik terkonsentrasi ditransfer ke beton dan didistribusikan lebih seragam di seluruh bagian. Luasnya sama dengan dimensi penampang yang terbesar. Untuk perangkat angkur yang terletak jauh dari ujung elemen, zona pengangkuran termasuk daerah yang terganggu di depan dan di belakang perangkat angkur. Lihat Gambar R25.9.1.1b.
Zona tarik pratekan (*Precompressed tensile zone*) — Bagian komponen struktur prategang dimana tarik lentur, yang dihitung menggunakan properti penampang bruto, akan terjadi karena beban mati dan hidup tak terfaktor jika gaya prategang tidak ada.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 3 – STANDAR RUJUKAN

3.1 - Ruang lingkup

3.1.1 Standar atau bagian-bagian spesifiknya, yang dirujuk dalam standar ini, termasuk Lampiran, Apendiks, atau Suplemen bila ditentukan adalah dirujuk tanpa pengecualian dalam standar ini, kecuali disebutkan secara khusus. Standar yang dirujuk, dicantum berikut nomornya, termasuk tahun adopsi atau revisinya.

R3.1 - Ruang lingkup

R3.1.1 Dalam standar ini, rujukan untuk standar spesifikasi atau materi lain merujuk ke edisi tertentu dari dokumen yang dirujuk. Ini dilakukan dengan menggunakan sebutan serial lengkap untuk standar yang dirujuk termasuk judul yang menunjukkan subjek dan tahun adopsi. Semua standar yang dirujuk dalam standar tercantum dalam pasal ini, dengan judul dan lengkap nomor serinya. Di bagian lain dari standar ini, standar rujukan disingkat hanya menyertakan penunjukan nomor serial tanpa judul atau tanggal. Rujukan yang disingkat ini sesuai dengan standar spesifik yang tercantum dalam pasal ini.

3.2 - Standar rujukan

3.2.1 *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*

LRFDUS-6—LRFD *Bridge Design Specifications, 6th Edition,* 2012*, Articles* 5.10.9.6, 5.10.9.7.2, *and* 5.10.9.7.3

LRFDCONS-3—LRFD Bridge Construction Specifications,3rd Edition, 2010, Article 10.3.2.3

R3.2 - Standar rujukan

R3.2.1 Tiga artikel dari spesifikasi AASHTO LRFD *Specifications for Highway Bridge Design* (AASHTO LRFDUS) satu artikel dari Spesifikasi Konstruksi AASHTO LRFD (AASHTO LRFDCONS) dirujuk dalam Pasal 2 dan 25 standar ini.

3.2.2 *American Concrete Institute (ACI)*

301-10	*Specifications for Structural Concrete, Article 4.2.3*
318.2-14	*Building Code Requirements for Concrete Thin Shells and Commentary*
332-14	*Residential Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*
355.2-07	*Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary*
355.4-11	*Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete*
374.1-05	*Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing*

R3.2.2 Artikel 4.2.3 dari ACI 301 dirujuk untuk metode proporsi campuran yang dirujuk dalam 26.4.3.1 (b).

Sebelum tahun 2014, ketentuan ACI 318.2 telah ditentukan di pasal 19 dari ACI 318 *Building Code.*

ACI 355.2 berisi persyaratan kualifikasi untuk pengujian dan mengevaluasi *post-installed expansion and undercut anchors* untuk digunakan baik pada beton retak maupun tidak retak.

ACI 355.4 berisi persyaratan kualifikasi untuk pengujian dan mengevaluasi angkur adhesif untuk digunakan baik pada beton retak maupun tidak retak.

ACI 423.7 mensyaratkan penggunaan sistem *encapsuled tendon* untuk penggunan standar ini.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
423.7-14	*Specification for Unbonded Single-Strand Tendon Materials*	
ITG-5.1-07	*Acceptance Criteria for Special Unbonded Post-Tensioned Precast Structural Walls Based on Validation Testing*	
3.2.3 *American Society of Civil Engineering (ASCE)*		**R3.2.3** Ada dua bagian spesifik pada ASCE yang dirujuk untuk pengutipan 5.3.9 dan 5.3.10.
ASCE/SEI 7-16	*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Sections 2.3.3, Load Combinations Including Flood Loads; and 2.3.4, Load Combinations Including Atmospheric Ice Loads*	
3.2.4 *ASTM International*		**R3.2.4** Standar ASTM yang tercantum adalah edisi terbaru pada saat ketentuan pada standar ini diadopsi. Standar ASTM relatif sering direvisi dibandingkan siklus revisi standar ini. Edisi terkini dan sebelumnya dari standar yang dirujuk dapat diperoleh dari ASTM International. Penggunaan edisi standar selain yang dirujuk di standar ini, mewajibkan pengguna untuk mengevaluasi jika ada perbedaan signifikan dalam edisi tidak sesuai tersebut.
A36/A36M-12	*Standard Specification for Carbon Structural Steel* [Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Karbon]	
A53/A53M-12	*Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless* [Standar Spesifikasi untuk Pipa, Baja, Baja, *Black and Hot-Dipped*, Dengan Lapisan Bahan Seng, Dengan Las dan Tanpa Sambungan]	
A184/184M-06 (2011)	*Standard Specification for Welded Deformed Steel Bar Mats for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Anyaman Batang Tulangan Baja Ulir Las untuk Tulangan Beton]	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
A242/242M-04	*Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel* (2013) [Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Campuran Rendah Kekuatan Tinggi]	
A307-12	*Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60,000 psi Tensile Strength* [Standar Spesifikasi untuk Baut dan *Stud* Baja Karbon, Kekuatan Tarik 420 MPa]	
A307-14	*Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*	
A416/A416M-12a	*Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete* [Standar Spesifikasi untuk *Strand* Baja, Tujuh Kawat Tanpa Pelapis untuk Beton Prategang]	
A421/A421M-10	*Standard Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja Bebas Tegangan Tanpa Pelapis untuk Beton Prategang]	
A500/A500M-13	*Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	and Shapes [Standar Spesifikasi untuk Pipa Struktural Baja Las Canai Dingin dan Karbon Tanpa Sambungan]	
A501-07	*Standard Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing* [Standar Spesifikasi untuk Pipa Struktural Baja Las Canai Panas dan Karbon Tanpa Sambungan]	
A 572/A572M-13a	*Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel* [Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Mutu Tinggi Campuran Rendah Columbium–Vanadium]	
A588/A588M-10	*Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance* [Standar Spesifikasi untuk Baja Struktural Campuran Rendah Mutu Tinggi, sampai dengan Titik Leleh Minimum 345 MPa, dengan Ketahanan Korosi Atmosfir]	
A615/A615M-14	*Standard Specification for Deformed and Plain Carbon Steel Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	untuk Batang Tulangan Baja Karbon Ulir untuk Tulangan Beton]	
A706/A706M-14	*Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Ulir dan Polos Baja Campuran Rendah untuk Tulangan Beton]	
A722/A722M-12	*Standard Specification for Uncoated High-Strength Steel Bars for Prestressing Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Mutu Tinggi Tanpa Lapisan untuk Beton Prategang]	
A767/A767M-09	*Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja yang Dilapisi Bahan Seng (Digalvanis) untuk Tulangan Beton]	
A775/A775M-07b (2014)	*Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Berlapis Epoksi]	
A820/A820M-11	*Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete* [Standar Spesifikasi untuk	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Serat Baja untuk Beton Berserat]	
A884/A884M-14	*Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Wire and Welded Wire Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja dan Tulangan Kawat Las Berlapis Epoksi]	
A934/A934M-13	*Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Prafabrikasi Berlapis Epoksi]	
A955/A955M-14	*Standard Specification for Deformed and Plain Stainless-Steel Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Tahan Karat Ulir dan Polos untuk Tulangan Beton]	
A970/A970M-13a	*Standard Specification for Headed Steel Bars for Concrete Reinforcement including Annex A1 Requirements for Class HA Head Dimensions* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Berkepala untuk Tulangan Beton termasuk Persyaratan Annex A1 untuk Dimensi Kepala Kelas HA]	
A992/A992M-11	*Standard Specification for Structural Steel Shapes* [Standar	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Spesifikasi Bentuk-Bentuk Baja Struktural]	
A996/A996M-14	*Standard Specification for Rail-Steel and Axle-Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Ulir Baja Rel dan Baja As]	
A1022/A1022M-14	*Standard Specification for Deformed and Plain Stainless Steel Wire and Welded Wire for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Kawat Baja dan Kawat Las Tahan Karat Ulir dan Polos untuk Tulangan Beton]	
A1035/A1035M-14	*Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement* [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja, Ulir dan Polos, Karbon Rendah, Chromium untuk Tulangan Beton]	
A1044/A1044M-05	*Standard Specification for Steel Stud Assemblies for Shear* (2010) *Reinforcement of Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Gabungan Stud Baja untuk Tulangan Geser Beton]	
A1055/A1055M-10	*Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Coated Steel Reinforcing Bars [Standar Spesifikasi untuk Batang Tulangan Baja Berlapis Ganda Bahan Seng dan Epoksi]	
A1060/A1060M-14	*Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Tulangan Kawat Las Baja Berlapis Bahan Seng (Digalvanis), Polos dan Ulir, untuk Beton]	
A1064/A1064M-13	*Standard Specification for Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Tulangan Kawat Las dan Kawat Baja, Polos dan Ulir, untuk Tulangan Beton]	
A1085-13	*Standard Specification for Cold-Formed Welded Carbon Steel Hollow Structural Sections* (HSS)	
C29/C29M-09	*Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate* [Metode Uji Standar untuk Berat Volume ("Berat Satuan") dan Rongga dalam Agregat]	
C31/C31M-12	*Standard Practice for Making and Curing Concrete Test*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Specimens in the Field [Standar Praktis untuk Pembuatan dan Perawatan Spesimen Uji Beton di Lapangan]	
C33/C33M-13	*Standard Specification for Concrete Aggregates* [Standar Spesifikasi untuk Agregat Beton]	
C39/C39M-13a	*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* [Metode Uji Standar untuk Kekuatan Tekan Spesimen Beton Silinder]	
C42/C42M-13	*Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete* [Metode Uji Standar untuk Mendapatkan dan Menguji *Core* Bor dan Balok Beton yang Dipotong]	
C94/C94M-14	*Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Beton *Ready-Mix*]	
C150/C150M-12	*Standard Specification for Portland Cement* [Spesifikasi Standar untuk Semen *Portland*]	
C172/C172M-14	*Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete* [Standar Praktis untuk Pengambilan Sampel Beton yang Baru Dicampur]	
C173/C173M-14	*Standard Test Method for Air*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method	
C231/C231M-14	*Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method* [Metode Uji Standar untuk Kadar Udara Beton yang Baru Dicampur dengan Metode Tekanan]	
C260/C260M-10a	*Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Bahan Campuran Tambahan Pengisi Udara untuk Beton]	
C330/C330M-14	*Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Agregat Ringan untuk Beton Struktural]	
C494/C494M-13	*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Bahan Campuran Tambahan Kimiawi untuk Beton]	
C496/C496M-11	*Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens* [Metode Uji Standar untuk Kekuatan Tarik Pembelah Spesimen Beton Silinder]	
C567/C567M-14	*Standard Test Method for Determining Density of Structural*	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Lightweight Concrete [Metode Uji Standar untuk Penentuan Berat Jenis Beton Ringan Struktural]	
C595/C595M-14	*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements* [Standar Spesifikasi untuk Semen Hidrolis Campuran]	
C618-12a	*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Abu Terbang Batu Bara dan Pozzolan Alami Mentah atau Kalsinasi untuk Penggunaan pada Beton]	
C685/C685M-11	*Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing* [Standar Spesifikasi untuk Beton yang Dibuat dengan Penakaran Volume dan Pencampuran Menerus]	
C845/C845M-12	*Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement* [Standar Spesifikasi untuk Semen Hidrolis Ekspansif]	
C989/C989M-13	*Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars* [Standar Spesifikasi untuk Semen Kerak untuk	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	Penggunaan pada Beton dan Mortar]	
C1012/C1012M-13	*Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution* [Metode Uji Standar untuk Perubahan Panjang Mortar Semen Hidrolis yang Terpapar terhadap Larutan Sulfat]	
C1017/C1017M-13	*Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Bahan Campuran Tambahan Kimiawi untuk Penggunaan dalam Menghasilkan Beton Mengalir]	
C1077-14	*Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation* [Standar Praktis untuk Beton dan Agregat Beton Uji Laboratorium untuk Penggunaan pada Konstruksi dan Kriteria untuk Evaluasi Laboratorium]	
C1116/C1116M-10a	*Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Beton Diperkuat Serat]	
C1157/C1157M-11	*Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	[Standar Spesifikasi Kinerja untuk Semen Hidrolis]	
C1218/C1218M-99	*Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete* (2008) [Metode Uji Standar untuk Klorida Larut Air pada Mortar dan Beton]	
C1240-14	*Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures* [Standar Spesifikasi untuk *Silica Fume* yang Digunakan dalam Campuran Sementisius]	
C1580-09[a1]	*Standard Test for Water-Soluble Sulfate in Soil* [Standar Uji untuk Sulfat Larut Air dalam Tanah]	
C1582/C1582M-11	*Standard Specification for Admixtures to Inhibit Chloride-Induced corrosion of Reinforcing Steel in Concrete*	
C1602/C1602M-12	*Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete* [Standar Spesifikasi untuk Air Campuran yang Digunakan dalam Produksi Beton Semen Hidrolis]	
C1609/C1609M-12	*Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)* [Metode Uji Standar	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	untuk Kinerja Lentur Beton yang Diperkuat Serat (Menggunakan Balok dengan Pembebanan Tiga Titik)]	
D516-11	*Standard Test Method for Sulfate Ion in Water* [Metode Uji Standar untuk Ion Sulfat dalam Air]	
D4130-08	*Standard Test Method for Sulfate Ion in Brackish Water, Seawater, and Brine* [Metode Uji Standar untuk Ion Sulfat dalam Air Payau, Air Laut, dan Air Garam]	
3.2.5 American Welding Society (AWS)		
D1.1/D1.1M: 2010	*Structural Welding Code - Steel*	
D1.4/D1.4M: 2011	*Structural Welding Code - Reinforcing Steel*	
3.2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI)		
SNI 0302:2014	Semen portland pozolan	
SNI 1726	Tatacara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung	
SNI 1727	Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain	
SNI 1729	Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural	
SNI 2049:2015	Semen portland	
SNI 2052:2017	Baja tulangan beton	
SNI 2460:2014	Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN
	untuk digunakan dalam beton	
SNI 6385:2016	Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar	
SNI 7064:2014	Semen portland komposit	
SNI 8363:2017	Semen portland slag	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 4 – PERSYARATAN SISTEM STRUKTUR

4.1 - Ruang lingkup

4.1.1 Pasal ini berlaku untuk desain beton struktural pada struktur atau bagian dari struktur yang didefinisikan pada Pasal 1.

R4.1 - Ruang lingkup

Pasal ini ditambahkan pada ACI 318-2014 untuk memperkenalkan persyaratan-persyaratan sistem struktur. Persyaratan yang lebih ketat dari standar ini sebaiknya digunakan untuk bangunan yang tidak biasa atau pada bangunan yang diharapkan memiliki kinerja lebih baik. Penggunaan standar ini dan penjelasannya harus disertai dengan pengetahuan, pengalaman, dan pertimbangan kerekayasaan (*engineering judgement*) yang baik.

4.2 - Material

4.2.1 Properti desain beton yang dipilih dalam desain harus sesuai dengan Pasal 19.

4.2.2 Properti desain baja tulangan yang dipilih dalam desain harus sesuai dengan Pasal 20.

R4.2 - Material

Pasal 3 menunjukkan standar rujukan yang dapat digunakan untuk desain. Pasal 19 dan 20 mendefinisikan properti beton dan tulangan baja yang dapat digunakan dalam desain. Pasal 26 berisi persyaratan terkait material, pencampuran, dan penerimaan beton saat konstruksi.

4.3 - Beban rencana

4.3.1 Beban dan kombinasi beban yang dipertimbangkan dalam desain harus sesuai dengan Pasal 5.

R4.3 - Beban rencana

R4.3.1 Ketentuan dalam Pasal 5 didasarkan pada SNI 1726 dan SNI 1727. Beban rencana termasuk, namun tidak terbatas pada, beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, pengaruh prategang, beban *crane*, vibrasi, beban impak, susut, perubahan temperatur, rangkak, perubahan volume, dan penurunan tidak seragam pada sistem fondasi. Beban-beban khusus lain dapat ditentukan oleh perencana ahli bersertifikat.

4.4 - Sistem struktur dan lintasan beban (*load path*)

4.4.1 Sistem struktur adalah yang termasuk pada a) hingga g), sebagaimana yang bisa diterapkan:

a) Konstruksi pelat lantai dan pelat atap, baik pelat satu-arah maupun pelat dua-arah
b) Balok dan pelat berusuk
c) Kolom
d) Dinding
e) Diafragma
f) Fondasi
g) *Joint*, sambungan (*connections*), dan angkur yang dibutuhkan untuk

R4.4 - Sistem struktur dan lintasan beban (*load path*)

R4.4.1 Desain struktur beton telah berubah, dari yang sebelumnya menitikberatkan pada desain komponen secara individual, sekarang menjadi desain struktur secara keseluruhan sebagai suatu sistem. Suatu sistem struktur terdiri dari komponen struktur, *joint*, dan sambungan (*connections*), yang masing-masing memiliki peran dan fungsi tersendiri. Suatu komponen struktur dapat menjadi bagian dari satu atau lebih sistem struktur, memiliki peran yang berbeda di setiap sistem struktur, dan harus memenuhi semua persyaratan pendetailan dari sistem struktur di mana komponen

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
menyalurkan gaya dari satu komponen ke komponen lain.	tersebut menjadi bagiannya. *Joint* dan sambungan adalah lokasi-lokasi bertemunya komponen-komponen, atau bagian yang digunakan untuk menghubungkan satu komponen ke komponen lainnya. Tapi perbedaan antara komponen, *joint*, dan sambungan dapat bergantung pada bagaimana struktur diidealisasikan. Pada pasal ini, istilah "komponen" umumnya mengacu pada "komponen struktur, *joint*, dan sambungan struktur." Meskipun standar ini disusun dengan mempertimbangkan bahwa suatu sistem struktur memiliki komponen-komponen ini, juga dimungkinkan menggunakan konfigurasi lainnya karena tidak semua tipe komponen struktur digunakan dalam semua sistem struktur pada bangunan. Pemilihan tipe komponen yang digunakan pada proyek tertentu dan peran dari komponen-komponen tersebut dilakukan oleh perencana ahli bersertifikat dengan tetap memenuhi ketentuan di dalam standar ini.
4.4.2 Desain komponen struktur, termasuk *joint* dan sambungan yang disebutkan pada 4.4.1, harus sesuai Pasal 7 hingga 18.	**R4.4.2** Di pasal ini untuk masing-masing tipe komponen struktur, persyaratannya mengikuti urutan dan lingkup yang sama, termasuk ketentuan umum, batasan desain, kekuatan perlu, kekuatan desain, batasan penulangan, detail penulangan, dan ketentuan-ketentuan khusus untuk masing-masing tipe komponen.
4.4.3 Diizinkan untuk merencanakan sistem struktur yang terdiri dari komponen-komponen struktur yang tidak memenuhi persyaratan 4.4.1 dan 4.4.2, asalkan sistem struktur tersebut memenuhi 1.10.1.	**R4.4.3** Beberapa jenis material, komponen struktur, atau sistem yang tidak disebutkan di dalam ketentuan standar ini masih dapat digunakan jika memenuhi tujuan utama dari standar ini. Pasal 1.10.1 menjelaskan prosedur untuk mendapatkan persetujuan penggunaan material dan sistem alternatif.
4.4.4 Sistem struktur harus didesain untuk menahan beban terfaktor sesuai dengan kombinasi pembebanan pada 4.3 tanpa melebihi kekuatan desain komponen yang sesuai, dengan mempertimbangkan satu atau lebih lintasan beban yang tidak terputus dari titik pembebanan atau asal sampai ke titik akhir tahanan.	**R4.4.4** Desain harus berdasarkan pada komponen atau sambungan yang menyediakan kekuatan desain tidak kurang dari kekuatan yang diperlukan untuk menyalurkan beban sepanjang lintasan beban (*load path*). Perencana ahli bersertifikat perlu melakukan analisis untuk satu atau lebih lintasan beban untuk mengidentifikasi bagian terlemah dari masing-masing lintasan beban.
4.4.5 Sistem struktur harus didesain untuk mengakomodasi perubahan volume dan	**R4.4.5** Pengaruh susut dan rangkak pada kolom dan dinding, susut dan rangkak

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
penurunan tidak seragam yang diperkirakan terjadi.	terkekang pada sistem atap dan lantai yang dimensinya cukup panjang, rangkak yang disebabkan oleh gaya prategang, perubahan volume yang disebabkan perbedaan temperatur, dan juga kemungkinan terjadinya kerusakan pada komponen pendukung akibat perubahan volume tersebut, harus diperhitungkan dalam desain. Penulangan, *closure strip*, atau *expansion joint*, adalah solusi yang umum digunakan untuk masalah ini. Penulangan minimum untuk mengatasi susut atau perbedaan temperatur umumnya mampu mengatasi masalah retak sampai pada level yang dapat diterima pada banyak struktur beton dengan proporsi campuran dan paparan yang normal. Penurunan atau kenaikan (*heave*) tidak seragam bisa menjadi pertimbangan yang penting dalam desain. Rekomendasi dari ahli geoteknik terkait hal ini belum diperhitungkan di dalam kombinasi beban desain untuk bangunan struktur sederhana.
4.4.6 *Sistem pemikul gaya seismik*	**R4.4.6** *Sistem pemikul gaya seismic*
4.4.6.1 Setiap struktur harus termasuk dalam salah satu Kategori Desain Seismik yang ditentukan berdasarkan SNI 1726.	**R4.4.6.1** Persyaratan desain di dalam standar ini didasarkan pada Kategori Desain Seismik (KDS) yang dikenakan pada bangunan. Secara umum, KDS berkaitan dengan tingkat risiko seismik, tipe tanah, okupansi dan penggunaan bangunan. Penentuan KDS suatu bangunan mengacu pada peraturan umum gedung lainnya. Jika peraturan gedung lainnya tidak tersedia, SNI 1726 dapat dijadikan acuan.
4.4.6.2 Sistem struktur yang didesain sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik hanya boleh didesain sebagai sistem pemikul gaya seismik tersebut sesuai dengan yang ditentukan berdasarkan SNI 1726.	**R4.4.6.2** Peraturan gedung lainnya melalui SNI 1726 menentukan bahwa tipe sistem struktur yang diizinkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik dengan mempertimbangkan Kategori Desain Seismik (KDS) dan tinggi bangunan. Persyaratan desain seismik untuk sistem struktur yang dikenakan KDS B hingga F ditentukan di dalam Pasal 18. Sistem lainnya dapat digunakan jika mendapatkan persetujuan dari pihak berwenang.
4.4.6.3 Sistem struktur yang dikenakan Kategori Desain Seismik A harus memenuhi persyaratan yang sesuai di dalam standar ini, kecuali persyaratan di Pasal 18.	**R4.4.6.3** Bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik A merupakan bangunan dengan tingkat risiko gempa paling rendah. Persyaratan pada Pasal 18 tidak berlaku.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
4.4.6.4 Sistem struktur yang dikenakan Kategori Desain Seismik B, C, D, E, atau F harus memenuhi persyaratan di Pasal 18 di samping persyaratan-persyaratan lain di dalam standar ini.	**R4.4.6.4** Penerapan ketentuan pada Pasal 18 bergantung pada Kategori Desain Seismik dan sistem struktur pemikul gaya seismik yang digunakan. Tidak semua komponen struktur memiliki persyaratan khusus untuk semua Kategori Desain Seismik. Sebagai contoh, Pasal 18 tidak memasukkan persyaratan untuk dinding struktural di dalam Kategori Desain Seismik B dan C, namun memasukkan ketentuan khusus untuk Kategori Desain Seismik D, E, dan F.
4.4.6.5 Komponen struktur diperbolehkan untuk diasumsikan tidak menjadi bagian dari sistem pemikul gaya seismik, dengan persyaratan dalam 4.4.6.5.1 dan 4.4.6.5.2. **4.4.6.5.1** Pada bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik B, C, D, E, atau F, pengaruh dari komponen struktur tersebut terhadap respons sistem secara keseluruhan harus diperhitungkan dan diakomodasi di dalam perhitungan desain struktur. **4.4.6.5.2** Pada bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik B, C, D, E, atau F, akibat yang ditimbulkan karena kerusakan komponen struktur tersebut harus diperhitungkan. **4.4.6.5.3** Pada bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik D, E, atau F, komponen struktur yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi persyaratan di dalam Pasal 18.	**R4.4.6.5** Untuk Kategori Desain Seismik D, E, dan F, komponen struktur yang tidak menjadi bagian dari sistem pemikul gaya seismik didesain mampu mengakomodasi simpangan antar tingkat (*drift*) dan gaya yang terjadi sebagai respons gedung akibat gempa.
4.4.6.6 Pengaruh dari komponen nonstruktural harus diperhitungkan sebagaimana dipersyaratkan dalam 18.2.2.1 dan akibat yang ditimbulkan karena kerusakan komponen tersebut harus dipertimbangkan.	**R4.4.6.6** Meskipun desain komponen nonstruktural untuk pengaruh gempa tidak termasuk di dalam lingkup standar ini, potensi terjadinya pengaruh negatif dari komponen nonstruktural terhadap komponen struktur harus diperhitungkan untuk Kategori Desain Seismik B, C, D, E, dan F. Interaksi antara komponen nonstruktural dan sistem struktur (seperti efek kolom pendek) dapat mengakibatkan kegagalan komponen struktur dan keruntuhan bangunan ketika terjadi gempa pada masa lalu.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
4.4.7 *Diafragma*	**R4.4.7** *Diafragma* – pelat lantai dan atap memiliki fungsi ganda, di samping sebagai penopang beban gravitasi, juga sebagai diafragma penyalur gaya lateral searah bidangnya. Persyaratan umum untuk diafragma terdapat di Pasal 12, dan peran diafragma dijelaskan di bagian Penjelasan di pasal tersebut. Persyaratan tambahan untuk desain diafragma pada bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik D, E, dan F, dijelaskan di Pasal 18.
4.4.7.1 Diafragma, seperti pelat lantai atau pelat atap, harus didesain untuk menahan secara bersamaan, gaya tidak sebidang (*out-of-plane*) akibat beban gravitasi dan gaya sebidang (*in-plane*) akibat gaya lateral, sesuai dengan kombinasi pembebanan yang ditentukan di dalam 4.3.	
4.4.7.2 Diafragma dan sambungannya ke komponen sistem rangka pemikul momen harus didesain untuk menyalurkan gaya antara diafragma dan komponen sistem rangka pemikul momen.	
4.4.7.3 Diafragma dan sambungannya harus didesain untuk memberikan kekangan lateral terhadap komponen vertikal, horizontal, dan miring (*inclined*).	
4.4.7.4 Diafragma harus didesain untuk menahan beban lateral dari tanah, tekanan hidrostatik, dan beban lainnya yang bekerja pada diafragma berdasarkan analisis struktur.	
4.4.7.5 Kolektor (*collectors*) harus disediakan pada lokasi yang dibutuhkan untuk menyalurkan gaya antara diafragma dan komponen-komponen vertikal.	**R4.4.7.5** Semua sistem struktur harus memiliki lintasan beban (*load path*) yang lengkap sesuai dengan 4.4.4. Lintasan beban termasuk elemen-elemen kolektor jika diperlukan.
4.4.7.6 Diafragma yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik harus didesain sesuai dengan beban yang bekerja. Pada bangunan yang dikenakan Kategori Desain Seismik D, E, dan F, desain diafragma harus mengikuti persyaratan di dalam Pasal 18.	
4.5 - Analisis struktur	**R4.5 - Analisis struktur**
4.5.1 Prosedur analisis harus memenuhi persyaratan kompatibilitas (*compatibility*) deformasi dan keseimbangan gaya.	Aturan analisis bertujuan memperkirakan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan stabilitas di dalam standar ini. Penggunaan komputer dalam rekayasa struktur (*structural engineering)* telah menjadikan analisis untuk struktur yang rumit dapat dilakukan. Standar ini mensyaratkan prosedur analisis yang digunakan sesuai dengan prinsip-prinsip dasar keseimbangan gaya dan kompatibilitas deformasi. Beberapa metode
4.5.2 Metode analisis yang diberikan di dalam Pasal 6 diperbolehkan.	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

4.6 - Kekuatan

4.6.1 Kekuatan desain dari komponen, *joint*, dan sambungannya (*connections*), dalam hal momen, gaya aksial, gaya geser, gaya torsi, dan gaya tumpu (*bearing*), dihitung dengan mengalikan kekuatan nominalnya S_n dengan faktor reduksi kekuatan ϕ.

4.6.2 Bangunan dan komponen struktur harus memiliki kekuatan rencana di sepanjang komponen, ϕS_n, lebih besar atau sama dengan kekuatan perlu U yang diperoleh dari beban terfaktor dan gaya-gaya di dalam kombinasi pembebanan yang dipersyaratkan di dalam standar ini atau peraturan umum gedung lainnya.

PENJELASAN

analisis diizinkan untuk digunakan, termasuk metode *strut-and-tie* untuk menganalisis daerah dengan diskontinuitas, seperti dijelaskan pada Pasal 6.

R4.6 – Kekuatan

Persyaratan dasar untuk kekuatan desain ditentukan dengan persamaan berikut:

kekuatan desain ≥ kekuatan perlu

$$\phi S_n \geq U$$

Di dalam prosedur desain untuk kekuatan, tingkat keamanan ditentukan oleh berbagai kombinasi faktor beban dan faktor reduksi kekuatan ϕ yang dikenakan pada kekuatan nominal.

Kekuatan suatu komponen atau penampang dihitung menggunakan asumsi dasar dan persamaan kekuatan, dengan nilai nominal dari kekuatan material, dan dimensinya, disebut sebagai kekuatan nominal atau S_n. Kekuatan desain atau kekuatan yang dapat digunakan dari suatu komponen atau penampang adalah kekuatan nominal yang direduksi dengan faktor reduksi kekuatan ϕ. Tujuan penggunaan faktor reduksi kekuatan adalah untuk memperhitungkan kemungkinan terjadinya penurunan kekuatan akibat variasi yang terdapat pada kekuatan material dan dimensi pada saat pelaksanaan, pengaruh penyederhanaan dan asumsi di dalam persamaan desain, tingkat daktilitas, potensi mode kegagalan dari komponen, kebutuhan keandalan, dan signifikansi kegagalan dan ketersediaan lintasan beban alternatif pada komponen di dalam struktur.

Standar ini, atau peraturan umum gedung, mensyaratkan kombinasi beban desain, yang juga disebut kombinasi beban terfaktor, yang menentukan bagaimana masing-masing tipe beban memiliki faktor bebannya sendiri yang selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan beban terfaktor U. Masing-masing faktor beban dan kombinasinya menunjukkan variasi besarnya beban tertentu, kemungkinan terjadinya dua atau lebih beban pada waktu bersamaan, serta asumsi dan perkiraan yang diambil dalam analisis struktur ketika menentukan kekuatan desain perlu.

Pendekatan desain yang umum, jika analisis linear dapat dilakukan, adalah

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dengan menganalisis struktur untuk masing-masing beban tanpa faktor beban. Kemudian, hasil analisis struktur untuk masing-masing beban tersebut kemudian dikombinasikan dengan memperhitungkan faktor bebannya masing-masing untuk mendapatkan pengaruh beban desain terhadap struktur. Ketika pengaruh beban adalah nonlinear (misalnya, beban *uplift* pada fondasi), beban terfaktor diaplikasikan secara bersamaan untuk menentukan pengaruh beban terfaktor yang nonlinear. Pengaruh dari beban termasuk momen, geser, gaya aksial, torsi, dan gaya tumpu. Kekuatan perlu adalah nilai absolut maksimum dari pengaruh beban terfaktor dengan nilai negatif atau positif. Terkadang, perpindahan desain ditentukan dari pengaruh beban terfaktor. Dalam penerapan prinsip-prinsip ini, perencana ahli bersertifikat harus mengetahui bahwa merencanakan kekuatan melebihi yang dibutuhkan tidak selamanya akan memberikan kondisi yang lebih aman pada struktur, karena hal ini dapat mengubah potensi mode kegagalan struktur. Sebagai contoh, menambah luas penampang tulangan longitudinal jauh melebihi yang dibutuhkan untuk kekuatan momen yang diperoleh dari analisis struktur tanpa menambah tulangan transversal dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya kegagalan geser sebelum kegagalan lentur terjadi.
4.7 - Kemampuan layan **4.7.1** Evaluasi kinerja saat kondisi beban layan bekerja harus mempertimbangkan gaya reaksi, momen, gaya torsi, gaya geser, dan gaya aksial yang ditimbulkan oleh prategang, rangkak (*creep*), susut (*shrinkage*), perubahan temperatur, deformasi aksial, kekangan dari komponen struktur yang tersambung, dan penurunan fondasi. **4.7.2** Untuk bangunan, komponen struktur, dan sambungannya, ketentuan 4.7.1 akan dianggap terpenuhi jika bangunan, komponen struktur, dan sambungannya didesain mengikuti persyaratan masing-masing pasal yang sesuai.	**R4.7 - Kemampuan layan** Kemampuan layan mengacu pada kemampuan sistem struktur atau komponen struktur yang menunjukkan perilaku dan fungsi sesuai dengan yang diharapkan ketika beban bekerja. Persyaratan kemampuan layan merujuk pada permasalahan seperti defleksi dan retak di samping permasalahan lainnya. Kecuali seperti dijelaskan di Pasal 24, kombinasi beban pada kondisi layan tidak didefinisikan di dalam standar ini, tapi dibahas pada Lampiran C dari SNI 1727. Lampiran dari SNI 1727 bukan merupakan bagian yang wajib dipenuhi dari standar desain.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
4.8 - Durabilitas **4.8.1** Campuran beton harus didesain menurut ketentuan 19.3.2 dan 26.4, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan agar memiliki durabilitas yang diperlukan. **4.8.2** Tulangan harus diproteksi terhadap korosi sesuai ketentuan 20.6.	**R4.8 - Durabilitas** Lingkungan di mana bangunan akan ditempatkan akan menentukan kategori paparan untuk pemilihan material, detail desain, dan persyaratan konstruksi untuk meminimalkan potensi penurunan kualitas struktur secara prematur yang diakibatkan oleh pengaruh lingkungan. Durabilitas dari suatu struktur juga dipengaruhi oleh tingkat pencegahan dan pemeliharaan, yang tidak dibahas di dalam standar ini. Pasal 19 memberikan persyaratan untuk melindungi beton dari pengaruh lingkungan secara umum yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas.
4.9 - *Sustainability* **4.9.1** Perencana ahli bersertifikat diperbolehkan menentukan persyaratan *sustainability* di dalam dokumen desain, sebagai tambahan atas persyaratan kekuatan, kemampuan layan, dan durabilitas yang ditentukan oleh standar ini. **4.9.2** Persyaratan kekuatan, kemampuan layan, dan durabilitas dari standar ini lebih utama untuk diikuti dibandingkan persyaratan *sustainability*.	**R4.9 - *Sustainability*** Ketentuan standar ini untuk kekuatan, kemampuan layan, dan durabilitas adalah merupakan persyaratan minimum untuk mendapatkan struktur beton dengan kondisi aman dan berdaya tahan. Standar ini memperbolehkan pemilik atau perencana ahli bersertifikat untuk menentukan persyaratan yang lebih tinggi daripada persyaratan minimum yang ditentukan di dalam standar ini. Persyaratan tambahan ini dapat berupa persyaratan kekuatan yang lebih tinggi, batasan defleksi yang lebih ketat, peningkatan durabilitas, dan ketentuan *sustainability*.
4.10 - Integritas struktural **4.10.1** *Umum* **4.10.1.1** Tulangan dan sambungan harus didetailkan untuk mengikat bangunan sebagai satu kesatuan secara efektif serta untuk meningkatkan integritas struktural bangunan secara keseluruhan.	**R4.10 - Integritas struktural** **R4.10.1** *Umum* **R4.10.1.1** Persyaratan integritas struktural bertujuan untuk meningkatkan redundansi dan daktilitas melalui pendetailan penulangan dan sambungan, sehingga dalam kondisi komponen penopang utama mengalami kerusakan atau menerima beban melebihi kondisi normal, kerusakan yang terjadi bisa dilokalisasi dan struktur memiliki kemampuan mempertahankan stabilitas secara keseluruhan yang lebih baik. Persyaratan integritas untuk tipe-tipe komponen struktur tertentu tercantum dalam pasal komponen struktur terkait.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

4.10.2 *Persyaratan minimum untuk integritas structural*

4.10.2.1 Komponen struktural dan sambungannya harus memenuhi persyaratan integritas struktural di Tabel 4.10.2.1.

Tabel 4.10.2.1 – Persyaratan minimum untuk integritas structural

Tipe komponen	Pasal
Pelat dua arah nonprategang	8.7.4.2
Pelat dua arah prategang	8.7.5.6
Pelat berusuk dua arah nonprategang	8.8.1.6
Balok cor di tempat	9.7.7
Pelat berusuk satu arah nonprategang	9.8.1.6
Joint dan sambungan (*connections*) pracetak	16.2.1.8

4.11 - Perlindungan terhadap kebakaran

4.11.1 Komponen struktur beton harus memenuhi persyaratan perlindungan terhadap kebakaran dari peraturan umum gedung lainnya.

4.11.2 Jika di dalam peraturan umum gedung lainnya mensyaratkan tebal selimut beton untuk perlindungan terhadap kebakaran yang lebih tebal dibandingkan dengan yang dipersyaratkan dalam 20.6.1, maka yang mensyaratkan selimut beton lebih tebal yang menentukan.

4.12 - Persyaratan untuk konstruksi tipe khusus

4.12.1 *Sistem beton pracetak*

4.12.1.1 Perencaan komponen beton pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan beban dan kondisi kekangan, mulai dari saat pabrikasi hingga kondisi akhir di dalam bangunan, termasuk

PENJELASAN

R4.10.2 *Persyaratan minimum untuk integritas struktural* – komponen struktur dan sambungannya yang diacu di dalam pasal ini adalah hanya tipe komponen yang memiliki persyaratan khusus untuk integritas struktural. Meskipun demikian, persyaratan pendetailan untuk tipe komponen lain, sebenarnya sudah mengandung persyaratan integritas struktural secara tidak langsung. Seperti peryaratan pendetailan dari pelat satu arah yang dijelaskan di 7.7.

R4.11 - Perlindungan terhadap kebakaran

Panduan tambahan tentang perlindungan terhadap kebakaran pada beton struktural dijelaskan di ACI 216.1.

R4.12 - Persyaratan untuk konstruksi tipe khusus

Pasal ini menjelaskan persyaratan terkait konstruksi tipe khusus. Persyaratan tambahan yang khusus untuk tipe komponen tertentu dijelaskan di pasal-pasal yang terkait komponen tersebut.

R4.12.1 *Sistem beton pracetak* – Semua persyaratan di dalam standar ini berlaku untuk sistem dan komponen pracetak, kecuali untuk yang secara khusus dinyatakan tidak. Beberapa persyaratan hanya berlaku untuk sistem pracetak. Pasal ini berisi persyaratan khusus untuk sistem

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
saat pembukaan cetakan, penyimpanan, transportasi, dan ereksi.	pracetak. Pasal-pasal lain dari standar ini juga menyatakan persyaratan khusus, seperti persyaratan selimut beton, untuk sistem pracetak.
4.12.1.2 Desain, pabrikasi, dan konstruksi dari komponen pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan pengaruh yang ditimbulkan dari toleransi yang disediakan.	Sistem pracetak berbeda dengan sistem monolitik dalam hal tipe kekangan pada tumpuan, lokasinya, dan tegangan yang terjadi pada komponen bervariasi selama pabrikasi, penyimpanan, transportasi, ereksi, dan konfigurasi akhir. Akibatnya, gaya rencana pada komponen yang diperhitungkan dapat berbeda di dalam hal besarnya, arahnya, dan lokasi penampang kritisnya, pada berbagai tahapan konstruksi. Sebagai contoh, suatu komponen lentur pracetak dapat berupa balok di atas dua tumpuan sederhana ketika perhitungan pengaruh beban mati sebelum disambungkan pada sambungan tumpuan dan dapat berubah menjadi komponen menerus ketika perhitungan pengaruh beban hidup dan beban lingkungan akibat sudah adanya kontinuitas setelah ereksi sambungan.
4.12.1.3 Saat komponen pracetak digabungkan ke dalam sistem struktur, gaya-gaya dan deformasi yang ditimbulkan di sambungan dan pada bagian komponen yang dekat dengan sambungan tersebut, harus diperhitungkan di dalam desain.	
4.12.1.4 Jika perilaku sistem membutuhkan beban sebidang untuk ditransfer antara komponen dari pelat lantai pracetak dan dinding, maka harus memenuhi a) dan b): a) Lintasan beban (*load path*) yang sebidang tidak boleh terputus antara sambungan (*connections*) dan komponen. b) Jika terjadi beban tarik, lintasan beban (*load path*) harus menggunakan baja atau tulangan baja, baik dengan sambungan (*splices*) maupun tidak.	
4.12.1.5 Distribusi gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap bidang komponen pracetak harus ditentukan melalui analisis atau uji coba.	
4.12.2 *Sistem beton prategang*	**R4.12.2** *Sistem beton prategang* – Prategang yang dimaksud di dalam standar ini, dapat berupa pratarik (*pretensioning*), pascatarik terlekat (*bonded posttensioning*), atau pascatarik tanpa lekatan (*unbonded posttensioning*). Semua persyaratan di dalam standar ini berlaku untuk sistem prategang dan komponennya, kecuali secara khusus dinyatakan tidak. Pasal ini berisi persyaratan khusus untuk sistem beton prategang. Pasal-pasal lain dari standar ini juga memberikan persyaratan khusus, seperti persyaratan selimut beton untuk sistem prategang.
4.12.2.1 Desain sistem dan komponen prategang hasil didasarkan pada kekuatan dan perilaku pada saat kondisi layan di semua tahapan yang kritis, mulai saat gaya prategang diaplikasikan hingga selama masa layan bangunan.	Pengaruh rangkak dan susut dapat menjadi lebih besar pada sistem beton prategang dibandingkan pengaruhnya pada sistem beton nonprategang. Hal ini disebabkan oleh gaya prategang dan juga disebabkan tipikal struktur prategang
4.12.2.2 Pengaruh yang ditimbulkan akibat prategang, seperti terjadinya deformasi elastik maupun plastik, defleksi, perubahan panjang, serta rotasi, harus dipertimbangkan. Pengaruh dari perubahan temperatur, kekangan dari komponen struktur yang terhubung, penurunan fondasi, rangkak, dan susut juga harus dipertimbangkan.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
4.12.2.3 Konsentrasi tegangan (*stress concentration*) akibat prategang harus dipertimbangkan dalam desain.	umumnya memiliki lekatan pada tulangan yang lebih kecil. Pengaruh pergerakan akibat rangkak dan susut perlu mendapat perhatian khusus pada sistem prategang. Pergerakan ini dapat mengakibatkan terjadinya kehilangan tegangan (*losses)* pada prategang.
4.12.2.4 Pengaruh berkurangnya luas penampang karena adanya selongsong (*ducts*) harus diperhitungkan di dalam perhitungan properti penampang sebelum *grout* di dalam selongsong pascatarik (*posttensioning ducts*) memiliki kekuatan sesuai perhitungan desain.	Desain konstruksi pretegang pascatarik eksternal harus mempertimbangkan aspek perlindungan terhadap korosi dan kebakaran yang tepat untuk sistem struktur ini.
4.12.2.5 Tendon pascatarik (*posttensioning*) diperbolehkan untuk dipasang pada bagian eksternal dari penampang komponen struktur. Persyaratan kekuatan dan kemampuan layan dalam standar ini berlaku untuk mengevaluasi pengaruh gaya tendon eksternal terhadap bangunan.	
4.12.3 *Beton komposit sebagai komponen lentur*	**R4.12.3** *Beton komposit sebagai komponen lentur* – Pasal ini membahas komponen beton struktural, baik pracetak maupun cor di tempat, prategang atau nonprategang, komponen yang memiliki beton yang dicor tidak pada waktu bersamaan yang bertujuan bekerja sebagai komposit ketika dibebani setelah pengecoran beton akhir telah mengeras. Semua persyaratan di dalam standar ini berlaku untuk komponen-komponen tersebut, kecuali jika secara khusus dinyatakan tidak. Beberapa persyaratan berlaku khusus untuk komponen lentur beton komposit. Pasal ini berisi persyaratan khusus untuk komponen-komponen ini yang tidak dijelaskan pada pasal-pasal lain mengenai komponen yang bersangkutan.
4.12.3.1 Standar ini berlaku untuk beton komposit sebagai komponen lentur sebagaimana ditentukan dalam Pasal 2.	
4.12.3.2 Setiap komponen harus didesain untuk setiap tahap pembebanan yang kritikal.	
4.12.3.3 Komponen harus didesain untuk menopang semua beban yang bekerja sebelum kekuatan desain dari komponen komposit tercapai sepenuhnya.	
4.12.3.4 Tulangan harus didetailkan untuk meminimalisir retak dan untuk mencegah terjadinya pemisahan (*separation*) komponen komposit yang satu dengan komponen lainnya.	
4.12.4 *Konstruksi baja dan beton komposit*	**R4.12.4** *Konstruksi baja dan beton komposit* – Standar ini hanya menjelaskan lingkup kolom komposit baja dan beton.
4.12.4.1 Komponen komposit tekan adalah semua komponen yang diperkuat dengan profil baja struktural, pipa, atau *tubing*, yang terpasang secara longitudinal, baik yang dilengkapi dengan tulangan maupun tidak.	
4.12.4.2 Desain komponen komposit tekan harus memenuhi persyaratan dalam Pasal 10.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
4.12.5 *Sistem beton polos structural*	
4.12.5.1 Desain komponen beton polos struktural, baik cor di tempat maupun pracetak, harus mengikuti persyaratan dalam Pasal 14.	
4.13 - Konstruksi dan inspeksi	**R4.13 - Konstruksi dan inspeksi**
4.13.1 Spesifikasi untuk pelaksanaan konstruksi harus mengikuti ketentuan dalam Pasal 26.	Pasal 26 telah disusun untuk mengumpulkan informasi desain, persyaratan, dan ketentuan inspeksi dari standar ini yang harus dimasukkan dalam dokumen perencanaan. Informasi lain yang mungkin tersedia tapi tidak dijelaskan di Pasal 26, harus dimasukkan ke dalam dokumen perencanaan.
4.13.2 Inspeksi selama konstruksi harus mengikuti ketentuan dalam Pasal 26 dan peraturan umum gedung lainnya.	
4.14 - Evaluasi kekuatan bangunan eksisting	**R4.14 - Evaluasi kekuatan bangunan eksisting**
4.14.1 Evaluasi kekuatan bangunan eksisting harus mengikuti ketentuan dalam Pasal 27.	Persyaratan-persyaratan dalam Pasal 27 untuk evaluasi kekuatan dari bangunan eksisting melalui pengujian beban secara fisik hanya menjelaskan untuk evaluasi struktur dengan beban gravitasi saja. Pasal 27 juga menjelaskan tentang evaluasi kekuatan dari bangunan eksisting melalui analisis, yang dapat diterapkan baik untuk beban gravitasi maupun untuk beban-beban lainnya seperti gempa dan angin.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 5 – BEBAN

5.1 - Ruang Lingkup

5.1.1 Ketentuan-ketentuan dalam pasal ini harus diterapkan untuk pemilihan faktor beban dan kombinasi beban yang digunakan dalam desain, kecuali yang diizinkan dalam Pasal 27.

5.2 - Umum

5.2.1 Beban harus meliputi berat sendiri, beban kerja, dan pengaruh dari gaya prategang, gempa, kekangan terhadap perubahan volume dan perbedaan penurunan.

R5.2 - Umum

R5.2.1 Ketentuan-ketentuan dalam standar adalah untuk beban-beban mati, hidup, angin, dan gempa seperti yang direkomendasikan oleh SNI 1727 dan SNI 1726.

Jika beban layan dispesifikasikan oleh peraturan umum gedung lainnya yang mana SNI 2847 merupakan bagiannya berbeda dari beban layan SNI 1727, maka peraturan umum gedung menentukan. Akan tetapi, jika sifat beban yang terkandung dalam peraturan umum gedung berbeda sekali dengan SNI 1727, maka beberapa ketentuan standar ini akan membutuhkan modifikasi untuk merefleksikan perbedaan tersebut.

5.2.2 Beban dan Kategori Desain Seismik (KDS) harus sesuai dengan peraturan umum gedung atau ditentukan oleh pihak berwenang.

R5.2.2 Kategori Desain Seismik (KDS) pada standar ini diadopsi langsung dari SNI 1726. Istilah yang sama digunakan pada *International Building Code* (2012 IBC) dan *National Fire Protection Association* (NFPA 5000 2012). BOCA *National Building Code* (BOCA 1999) dan *Standard Building Code* (SBC 1999) menggunakan istilah kategori kinerja seismik. *Uniform Building Code* (IBCO 1997) mengkaitkan ketentuan-ketentuan desain seismik dengan zona gempa, sedangkan edisi ACI 318 sebelum tahun 2008 mengkaitkan ketentuan-ketentuan desain seismik dengan tingkat risiko gempa. Tabel R5.2.2 mengkaitkan KDS dengan terminologi risiko gempa yang digunakan oleh ACI 318 pada beberapa edisi sebelum edisi 2008 dan terhadap metode lainnya yang menetapkan ketentuan-ketentuan desain yang digunakan di Amerika pada beberapa peraturan model gedung (*model building code)*, standar ASCE/SEI 7, dan *National*

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR | **PENJELASAN**

Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP 1994).

Ketentuan-ketentuan desain untuk struktur penahan gempa dalam standar ini sesuai dengan Kategori Desain Seismik (KDS) strukturnya. Secara umum, KDS berkaitan dengan tingkat bahaya gempa, tipe tanah, okupansi hunian dan kegunaan gedung. Penetapan KDS pada gedung ditetapkan sesuai aturan peraturan umum gedung daripada standar ini.

Tabel R5.2.2 – Korelasi terminologi seismik dalam model *code*.

***Code, Standard*, atau sumber dokumen dan edisi**	**Tingkat risiko gempa atau kinerja seismik atau kategori desain yang didefinisikan dalam kode**		
ACI 318-08, ACI 318-11, ACI 318-14, IBC 2000, 2003, 2006, 2008, 2012, NFPA 5000 2003, 2006, 2009, 2012, ASCE 7-98 – 7-10, NEHRP 1997, 2000, 2003, 2009	KDS[1] A, B	KDS C	KDS D, E, F
ACI 318-05 dan edisi sebelumnya	Risiko seismik rendah	Risiko seismik menengah	Risiko seismik tinggi
BOCA National Building Code 1993, 1996, 1999, Standard Building Code 1994, 1997 1999, ASCE 7-93, 7-95, NEHRP 1991, 1994	KKS[2] A, B	KKS C	KKS D, E
Uniform Building Code 1991, 1994, 1997	Zona gempa 0,1	Zona gempa 2	Zona gempa 3,4

[1] KDS = Kategori Desain Seismik *(Seismic Design Category)* yang didefiniskan dalam kode, standar, atau sumber dokumen

[2] KKS = Kategori Kinerja Seismik *(Seismic Performance Category)* yang didefiniskan dalam kode, standar, atau sumber dokumen

Jika tidak ada peraturan umum gedung yang menentukan beban gempa dan zona gempa, menjadi perhatian komite ACI 318 bahwa penggunaan ketentuan-ketentuan desain penahan gempa harus konsisten dengan ASCE/SEI 7, 2012 IBC dan NFPA 5000. Peraturan umum gedung juga

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	menspesifikasikan faktor kekuatan lebih Ω_o berkaitan dengan sistem penahan seismik untuk struktur dan desain komponen-komponen struktur tertentu.

5.2.3 Reduksi beban hidup diizinkan sesuai dengan peraturan umum gedung atau bila tidak terdapat dalam peraturan umum gedung harus berdasarkan SNI 1727.

5.3 - Faktor beban dan kombinasi beban

5.3.1 Kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam Tabel 5.3.1, dengan pengecualian dan tambahan dalam 5.3.3 hingga 5.3.12.

Tabel 5.3.1 – Kombinasi beban

Kombinasi beban	Persamaan	Beban utama
$U = 1{,}4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5(L_r$ atau $R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1{,}2D + 1{,}6(L_r$ atau $R) + (1{,}0L$ atau $0{,}5W)$	(5.3.1c)	L_r atau R
$U = 1{,}2D + 1{,}0W + 1{,}0L + 0{,}5(L_r$ atau $R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1{,}2D + 1{,}0E + 1{,}0L$	(5.3.1e)	E
$U = 0{,}9D + 1{,}0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0{,}9D + 1{,}0E$	(5.3.1g)	E

R5.3 - Faktor beban dan kombinasi beban

R5.3.1 Kekuatan perlu U dinyatakan dalam bentuk-bentuk beban-beban terfaktor, momen-momen dan gaya-gaya dalam terkait. Beban-beban terfaktor adalah beban-beban yang ditetapkan oleh peraturan pembebanan yang berlaku, kemudian dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai.

Faktor yang dikenakan pada masing-masing beban dipengaruhi oleh tingkat ketelitian sejauh mana pengaruh beban biasanya dapat dihitung dan variasi yang mungkin terjadi pada beban selama umur layan struktur. Beban mati, karena dapat ditentukan lebih teliti dan tidak terlalu bervariasi, dikenai faktor beban yang lebih rendah daripada beban hidup. Faktor-faktor beban juga memperhitungkan variabilitas dalam analisis struktur yang digunakan untuk menghitung momen-momen dan gaya-gaya geser.

Standar ini memberikan faktor-faktor beban untuk kombinasi-kombinasi beban khusus. Dalam memberikan faktor-faktor pada kombinasi beban, beberapa pertimbangan harus diberikan terhadap kemungkinan terjadinya beban yang bersamaan. Walaupun sebagian besar kombinasi beban yang biasanya terjadi sudah tercakup, namun tidak boleh menganggap bahwa semua kasus sudah tercakup.

Perlu diberikan perhatian pada tanda (positif atau negatif) dalam menentukan U untuk kombinasi-kombinasi beban, dimana sebuah tipe pembebanan dapat menghasilkan pengaruh berlawanan terhadap yang dihasilkan oleh tipe pembebanan yang lain. Kombinasi-kombinasi beban dengan $0{,}9D$ secara khusus diperhitungkan untuk kasus

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

5.3.2 Pengaruh satu atau lebih beban yang tidak bekerja secara serentak harus diinvestigasi.

PENJELASAN

dimana beban mati yang lebih tinggi mengurangi pengaruh beban-beban lainnya. Kasus pembebanan ini bisa juga kritis untuk penampang-penampang kolom yang terkendali oleh tegangan tarik. Dalam kasus seperti ini, pengurangan beban aksial dan peningkatan momen dapat menghasilkan kombinasi beban yang kritis.

Berbagai kombinasi beban untuk menentukan kondisi desain yang paling kritis harus dipertimbangkan. Hal ini menjadi penting bila kekuatan tergantung pada lebih dari satu pengaruh beban, seperti kekuatan untuk kombinasi beban lentur dan aksial atau kekuatan geser pada komponen-komponen struktur dengan beban aksial.

Bila keadaan khusus memerlukan ketergantungan yang lebih besar pada kekuatan komponen-komponen struktur tertentu daripada yang biasa dijumpai dalam praktik perencanaan pada umumnya, maka pengurangan faktor reduksi kekuatan ϕ yang dipakai atau peningkatan faktor-faktor beban $\boldsymbol{U}$ dapat dilakukan untuk komponen struktur tersebut.

Beban hujan $\boldsymbol{R}$ pada Pers. (5.3.1b), (5.3.1c), dan (5.3.1d) harus dihitung untuk semua kemungkinan akumulasi air hujan. Atap harus didesain memiliki kemiringan yang cukup atau lawan-lendut (*camber)* untuk menjamin drainase yang cukup dengan memperhitungkan defleksi atap jangka-panjang akibat beban mati. Bila defleksi atap dapat menimbulkan genangan air yang disertai dengan defleksi tambahan dan genangan tambahan, desainnya harus menjamin bahwa proses ini dengan sendirinya menjadi pembatas.

Peraturan umum gedung dan rujukan-rujukan beban desain terkait beban gempa pada tingkat kekuatan dan faktor beban adalah 1,0 (ASCE/SEI 7; BOCA (1999); SBC (1999); UBC (ICBO 1997); 2012 IBC). Bila tidak terdapat peraturan umum gedung yang menetapkan pengaruh tingkat gempa kuat, faktor beban yang lebih besar untuk $\boldsymbol{E}$ dapat digunakan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
5.3.3 Faktor beban pada beban hidup L dalam Pers. (5.3.1c), (5.3.1d) dan (5.3.1e) diizinkan direduksi hingga 0,5 kecuali untuk a), b) atau c): a) Garasi b) Luasan yang ditempati sebagai tempat berkumpul publik c) Semua luasan dimana L lebih besar dari 4,8 kN/m^2.	**R5.3.3** Faktor modifikasi beban dalam standar ini berbeda dengan reduksi beban hidup berdasarkan luasan terbebani yang diizinkan dalam peraturan umum gedung. Reduksi beban hidup, berdasarkan luasan terbebani, menyesuaikan beban hidup nominal (L_0 dalam SNI 1727 atau ASCE/SEI 7) menjadi L. Reduksi beban hidup, sebagaimana ditetapkan dalam peraturan umum gedung, dapat digunakan dengan mengkombinasikan faktor beban 0,5 yang diatur dalam standar ini.
5.3.4 Bila disertakan, beban hidup L meliputi a) hingga f): a) Beban hidup terpusat b) Beban kendaraan c) Beban kran (*crane*) d) Beban pada sistem pegangan tangga, pagar pembatas, pembatas kendaraan. e) Pengaruh impak (kejut) f) Pengaruh getaran	
5.3.5 Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1{,}6W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $1{,}0W$ dalam Pers. (5.3.1d) dan (5.3.1f), dan $0{,}8W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0{,}5W$ dalam Pers. (5.3.1c).	**R5.3.5** SNI 1727 (ASCE/SEI 7) telah merubah beban angin ke tingkat kekuatan dan mengurangi faktor beban angin ke 1,0. Standar ini menggunakan faktor beban sebelumnya untuk beban angin sebesar 1,6, ketika beban angin tingkat layan digunakan. Untuk pengecekan kemampuan layan, bagian penjelasan di Lampiran C ASCE/SEI 7 memberikan tingkat layan beban angin W_a.
5.3.6 Pengaruh struktural dari gaya-gaya akibat kekangan dari perubahan volume dan perbedaan penurunan T harus ditinjau dalam kombinasi dengan beban lainnya jika pengaruh T dapat memberikan pengaruh yang merugikan terhadap keamanan struktural atau kinerjanya. Faktor beban untuk T harus ditentukan dengan memperhitungkan ketidaktentuan yang terkait dengan besaran T, probabilitas dimana pengaruh maksimum T akan terjadi serentak dengan beban kerja lainnya, dan konsekuensi yang berpotensi merugikan jika pengaruh T lebih besar dari yang diasumsikan. Faktor beban pada T tidak boleh mempunyai nilai kurang dari 1,0.	**R5.3.6** Beberapa strategi dapat digunakan untuk mengakomodasi pergerakan akibat perubahan volume dan beda penurunan. Kekangan terhadap pergerakan dapat menimbulkan gaya-gaya dan momen-momen yang signifikan pada komponen-komponen struktur, seperti gaya tarik pada pelat, dan gaya geser dan momen pada komponen-komponen vertikal. Gaya-gaya akibat pengaruh T umumnya tidak dihitung dan digabung dengan pengaruh beban lainnya. Desain mengandalkan pengalaman masa lampau yang berhasil menggunakan komponen-komponen struktur yang mampu mengatasi hal tersebut (*compliant*) dan sambungan daktail untuk mengakomodasi beda penurunan dan pergerakan akibat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

5.3.7 Bila beban fluida F ada, harus disertakan dalam kombinasi beban Pers. 5.3.1 dengan faktor beban sesuai dengan a), b), c), atau d):

a) Bila F bekerja sendirian atau menambah pada pengaruh beban mati D, harus disertakan dengan faktor beban sebesar 1,4 dalam Pers. (5.3.1a);
b) Bila F menambah pada beban utama, harus disertakan dengan faktor beban sebesar 1,2 dalam Pers. (5.3.1b) hingga (5.3.1e);
c) Bila pengaruh F permanen dan melawan pengaruh beban utamanya, harus disertakan dengan faktor beban sebesar 0,9 dalam Pers. (5.3.1g);
d) Bila pengaruh F tidak permanen tetapi, bila ada, melawan pengaruh beban utamanya, F tidak boleh disertakan dalam Pers. (5.3.1a) hingga (5.3.1g).

PENJELASAN

perubahan volume dengan memberikan tahanan yang dibutuhkan oleh beban gravitasi dan beban lateral. Ekspansion *joint* dan lajur klosur konstruksi digunakan untuk membatasi pergerakan akibat perubahan volume berdasarkan kinerja struktur yang serupa. Tulangan susut dan temperatur, yang mungkin melebihi kebutuhan tulangan lentur, umumnya proporsional terhadap luas penampang bruto daripada perhitungan gaya lateral.

Bilamana pergerakan struktur dapat menyebabkan kerusakan komponen-komponen nondaktail, perhitungan gaya perkiraan harus mempertimbangkan variabilitas inheren dari pergerakan yang diperkirakan dan respons struktur.

Sebuah studi yang panjang terkait perilaku perubahan volume gedung beton pracetak (Klein dan Lindenberg 2009) merekomendasikan prosedur untuk menghitung kekakuan sambungan, *eksposur termal*, *softening* komponen akibat rangkak dan faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi gaya-gaya T.

Fintel et al. (1986) memberikan informasi mengenai besaran pengaruh perubahan volume pada struktur tinggi dan memberikan rekomendasi terkait prosedur untuk memasukkan gaya-gaya yang dihasilkan dari pengaruh hal tersebut dalam desain.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
5.3.8 Bila tekanan lateral tanah H ada, harus disertakan dalam kombinasi beban dari 5.3.1 dengan faktor beban sesuai dengan a), b), atau c): a) Bila H bekerja sendirian atau menambah pada pengaruh beban utamanya, harus disertakan dengan faktor beban sebesar 1,6. b) Bila pengaruh H permanen dan melawan pengaruh beban lainnya, harus disertakan dengan faktor beban sebesar 0,9. c) Bila pengaruh H tidak permanen tetapi, bila ada, melawan pengaruh beban lainnya, H tidak boleh disertakan.	**R5.3.8** Syarat faktor beban untuk tekanan lateral dari tanah, air dalam tanah, dan material lainnya mencerminkan variabilitas material tersebut dan kemungkinan bahwa material tersebut ditiadakan. Penjelasan ASCE/SEI 7 memberikan penjelasan tambahan yang berguna terkait faktor beban untuk H.
5.3.9 Bila struktur berada di zona banjir, beban banjir dan faktor beban dan kombinasi beban yang sesuai dengan SNI 1727 harus digunakan.	**R5.3.9** Daerah yang terkena banjir diberikan dalam peta bahaya banjir, umumnya disediakan oleh pihak berwenang atau pemerintah daerah.
5.3.10 Pasal ini tidak relevan untuk Indonesia.	**R5.3.10** Pasal ini tidak relevan untuk Indonesia.
5.3.11 Kekuatan perlu U harus mencakup pengaruh beban internal akibat reaksi yang ditimbulkan oleh gaya prategang dengan faktor beban sebesar 1,0.	**R5.3.11** Untuk struktur statis tak-tentu, gaya-gaya dalam akibat reaksi-reaksi yang ditimbulkan oleh gaya prategang yang disebut sebagai momen sekunder, pengaruhnya cukup berarti (Bondy 2003; Lin dan Thornton 1972; Collins dan Mitchell 1997).
5.3.12 Untuk perencanaan daerah pengangkuran pascatarik harus digunakan faktor beban 1,2 terhadap gaya penarikan maksimum tendon prategang.	**R5.3.12** Faktor beban 1,2 yang dikenakan pada gaya penarikan maksimum menghasilkan beban desain kira-kira 113 % kekuatan leleh tendon tetapi tidak lebih dari 96 % kekuatan nominal tendon. Hal ini sebanding dengan kapasitas maksimum angkur sekurangnya 95 % dari kekuatan tarik nominal tendon prategang.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 6 – ANALISIS STRUKTUR

6.1 - Ruang Lingkup

6.1.1 Ketentuan-ketentuan dalam pasal ini harus diterapkan untuk metode analisis, pemodelan komponen-komponen struktur dan sistem struktur dan perhitungan pengaruh beban.

R6.1 - Ruang Lingkup

Ketentuan analisis struktur pada standar sebelumnya telah disusun-ulang untuk memperjelas syarat-syarat analsis struktur dalam standar ini.

Pasal 6.2 memberikan syarat-syarat umum yang dapat digunakan untuk semua prosedur analisis.

Pasal 6.2.4 mengarahkan perencana ahli bersertifikat pada ketentuan-ketentuan analisis khusus yang tidak masuk dalam pasal ini. Pasal 6.2.4.1 dan 6.2.4.2 mengidentifikasi ketentuan-ketentuan analisis yang khusus untuk pelat dua arah dan dinding.

Pasal 6.3 menunjukkan asumsi-asumsi pemodelan yang digunakan dalam menetapkan model analisis.

Pasal 6.4 memberikan pengaturan beban hidup yang harus dipertimbangkan dalam analisis.

Pasal 6.5 memberikan metode analisis penyederhanaan untuk balok menerus dan pelat satu arah nonprategang yang dapat digunakan untuk menggantikan analisis yang lebih rinci ketika kondisi tertentu terpenuhi.

Pasal 6.6 mencakup ketentuan-ketentuan untuk analisis orde pertama yang komprehensif. Pengaruh retak dan rangkak pada penampang termasuk dalam analisis.

Pasal 6.7 meliputi ketentuan-ketentuan analisis elastis orde kedua. Memasukkan pengaruh retak dan rangkak pada penampang diperlukan.

Pasal 6.8 memuat ketentuan-ketentuan analisis inelastis orde kedua

Pasal 6.9 melingkupi ketentuan-ketentuan untuk penggunaan metode elemen hingga.

6.2 - Umum

6.2.1 Komponen dan sistem struktur diizinkan untuk dimodelkan sesuai 6.3.

6.2.2 Semua komponen struktur dan sistem struktur harus dianalisis terhadap pengaruh-pengaruh maksimum dari beban termasuk pengaturan beban hidup sesuai 6.4.

R6.2 - Umum

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
6.2.3 Metode analisis yang diizinkan oleh pasal ini harus menggunakan a) hingga e): a) Metode penyederhanaan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah terhadap beban gravitasi dalam 6.5 b) Orde pertama dalam 6.6 c) Orde kedua elastis dalam 6.7 d) Orde kedua inelastis dalam 6.8 e) Elemen hingga dalam 6.9	**R.6.2.3** Analisis orde pertama memenuhi persamaan kesimbangan menggunakan geometri struktur tak terdeformasi (*undeformed*). Bila hanya hasil orde pertama dipertimbangkan, pengaruh kelangsinan tidak diperhitungkan. Karena pengaruh-pengaruh tersebut dapat menjadi hal yang penting, Pasal 6.6 memberikan prosedur-prosedur untuk menghitung pengaruh kelangsingan individual komponen-komponen struktur **($P\delta$)** dan pengaruh goyangan **($P\Delta$)** pada keseluruhan struktur menggunakan hasil analisis orde pertama. Analisis orde kedua memenuhi persamaan keseimbangan menggunakan geometri struktur terdeformasi (*deformed*). Apabila analisis orde kedua menggunakan nodal-nodal sepanjang komponen-komponen struktur tekan, analisis memperhitungkan pengaruh kelangsingan akibat deformasi lateral sepanjang individual komponen struktur termasuk pengaruh goyangan keseluruhan struktur. Apabila analisis orde kedua menggunakan nodal-nodal hanya pada perpotongan komponen-komponen struktur, analisis mampu menangkap pengaruh goyangan keseluruhan struktur tetapi mengabaikan pengaruh kelangsingan individu komponen struktur. Dalam kasus ini, metode pembesaran momem (6.6.4) digunakan untuk menentukan pengaruh kelangsingan individu komponen struktur. Analisis elemen hingga telah diperkenalkan pada standar ini yang secara eksplisit mengakui penggunaan metode analisis ini secara luas.
6.2.4 Metode analisis tambahan yang diizinkan termasuk dalam 6.2.4.1 hingga 6.2.4.4.	
6.2.4.1 Pelat dua arah diizinkan untuk dianalisis terhadap beban gravitasi sesuai a) atau b): a) Metode desain langsung dalam 8.10 b) Metode rangka ekuivalen dalam 8.11	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

6.2.4.2 Dinding langsing diizinkan untuk dianalisis sesuai 11.8 terhadap pengaruh luar bidang.

6.2.4.3 Diafragma diizinkan untuk dianalisis sesuai 12.4.2.

6.2.4.4 Sebuah komponen atau daerah diizinkan untuk dianalisis dan didesain menggunakan metode *strut and tie* sesuai pasal 23.

6.2.5 Pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika (a) atau (b) terpenuhi:

a) untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \le 22 \qquad (6.2.5a)$$

b) untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{kl_u}{r} \le 34 + 12\left(M_1/M_2\right) \qquad (6.2.5b)$$

dan

$$\frac{kl_u}{r} \le 40 \qquad (6.2.5c)$$

dimana M_1/M_2 adalah negatif jika kolom melentur dalam kurvatur tunggal, dan positif jika komponen struktur melentur dalam kurvatur ganda.

Bila elemen pengaku menahan pergerakan lateral sebuah tingkat dengan kekakuan total sebesar paling sedikit 12 kali kekakuan lateral bruto kolom dalam arah tinjauan, diizinkan untuk memperhitungkan kolom dalam tingkat yang ditahan terhadap goyangan samping.

PENJELASAN

R6.2.5 Pengaruh orde kedua pada banyak struktur dapat diabaikan. Pada kasus-kasus ini, tidak perlu memperhitungkan pengaruh kelangsingan dan komponen-komponen struktur tekan seperti kolom, dinding atau pengaku dapat didesain berdasarkan gaya-gaya dari analisis orde pertama. Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan dalam kedua sistem berpengaku dan sistem tak berpengaku tergantung pada rasio kelangsingan (kl_u/r) komponen sruktur.

Perjanjian tanda M_1/M_2 telah diperbaharui sehingga M_1/M_2 adalah negatif jika kolom melentur dalam kurvatur tunggal, dan positif jika komponen struktur melentur dalam kurvatur ganda. Hal ini menunjukkan perubahan perjanjian tanda terhadap *ACI 318- 2011.*

Alat bantu desain primer untuk mengestimasi faktor panjang efektif k adalah Jackson dan Moreland Alignment Chart (Gambar 6.2.5) yang memungkinkan penentuan k secara grafis untuk kolom dengan penampang konstan pada suatu rangka dengan bentang banyak (ACI SP-17(09); Column Research Council 1966).

Persamaan-persamaan (6.2.5b) dan (6.2.5c) adalah berdasarkan pers. (6.6.4.5.1) mengasumsikan bahwa 5 persen peningkatan momen akibat kelangsingan diperbolehkan (MacGregor et al., 1970). Sebagai perkiraan awal, k dapat diambil sama dengan 1,0 untuk Pers. (6.2.5b) dan (6.2.5c).

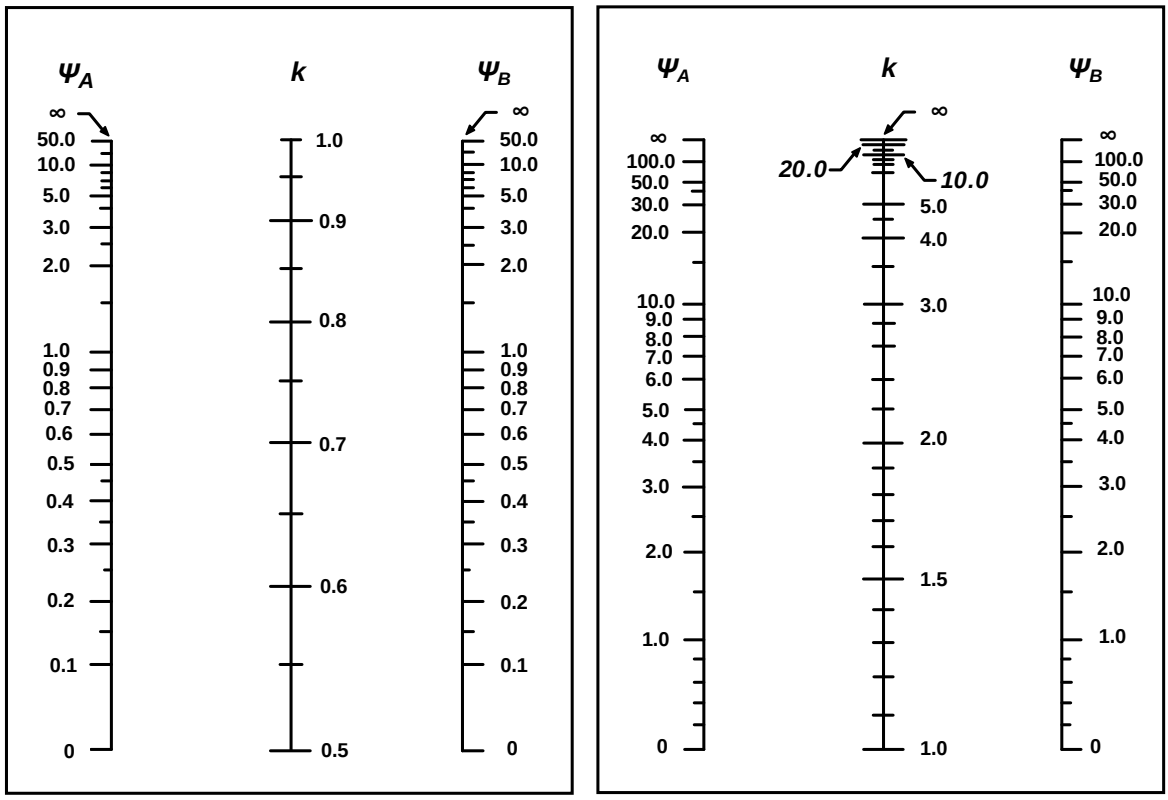
Kekakuan pengaku lateral ditetapkan berdasarkan arah utama sistem rangka. Komponen-komponen pengaku pada tipikal struktur gedung terdiri dari dinding geser atau pengaku lateral. Respons torsi sistem pemikul gaya lateral akibat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.2.5.1 Radius girasi, ***r***, diizinkan untuk dihitung dengan a), b) atau c):	eksentrisitas sistem struktur dapat meningkatkan pengaruh orde kedua dan harus diperhitungkan.
a) $r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$ (6.2.5.1)	
b) 0,3 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk kolom persegi:	
c) 0,25 kali diameter untuk kolom bundar.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**



(a) Rangka tidak bergoyang (b) Rangka bergoyang

Ψ = rasio $\sum(EI/\ell_c)$ untuk kolom terhadap $\sum(EI/\ell)$ untuk balok pada satu ujung kolom dalam bidang yang ditinjau

ℓ = panjang bentang balok diukur dari pusat ke pusat *joint*

Gambar R6.2.5 – Faktor panjang efektif, k

6.2.5.2 Untuk penampang komposit, radius girasi, r, tidak boleh diambil lebih besar dari nilai yang diberikan oleh:

$$r = \sqrt{\frac{(E_c I_g / 5) + E_s I_{sx}}{E_c A_g / 5 + E_s A_{sx}}} \qquad (6.2.5.2)$$

Batang tulangan longitudinal yang berada dalam inti beton diselubungi oleh baja struktural atau tulangan transversal sekeliling baja struktural inti diizinkan untuk digunakan dalam menghitung A_{sx} dan I_{sx}.

R6.2.5.2 Pers. (6.2.5.2) diberikan karena ketentuan-ketentuan dalam 6.2.5.1 untuk menghitung radius girasi terlalu konservatif untuk komponen tabung (*tubing*) dengan beton-pengisi dan tidak berlaku untuk komponen-komponen struktur dengan profil struktural (*structural shapes*) yang terbungkus beton.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

6.2.6 Terkecuali pengaruh kelangsingan tidak diabaikan seperti yang diizinkan oleh 6.2.5, desain kolom, balok pengekang, dan komponen struktur penumpu lainnya harus didasarkan pada gaya dan momen terfaktor memperhitungkan pengaruh orde kedua yang memenuhi 6.6.4, 6.7, atau 6.8. M_u termasuk pengaruh orde kedua tidak boleh melebihi $1{,}4M_u$ akibat pengaruh orde pertama.

PENJELASAN

R6.2.6 Desain memperhitungkan pengaruh orde kedua dapat menggunakan pendekatan pembesaran momen (MacGregor et al., 1970; Macgregor 1993; Ford et al., 1981), analisis elastis orde kedua, dan analisis nonlinear orde kedua. Gambar R6.2.6 ditujukan untuk membantu perencana dalam penggunaan ketentuan-ketentuan kelangsingan pada standar ini.

Momen-momen ujung pada komponen-komponen struktur tekan, seperti kolom, dinding atau bresing harus dipertimbangkan dalam desain pada komponen struktur lentur yang bersebelahan. Pada rangka tak bergoyang, pengaruh pembesaran momen-momen ujung tidak perlu diperhitungkan dalam desain balok-balok bersebelahan. Pada rangka bergoyang, pembesaran momen-momen ujung harus diperhitungkan dalam desain balok-balok bersebelahan.

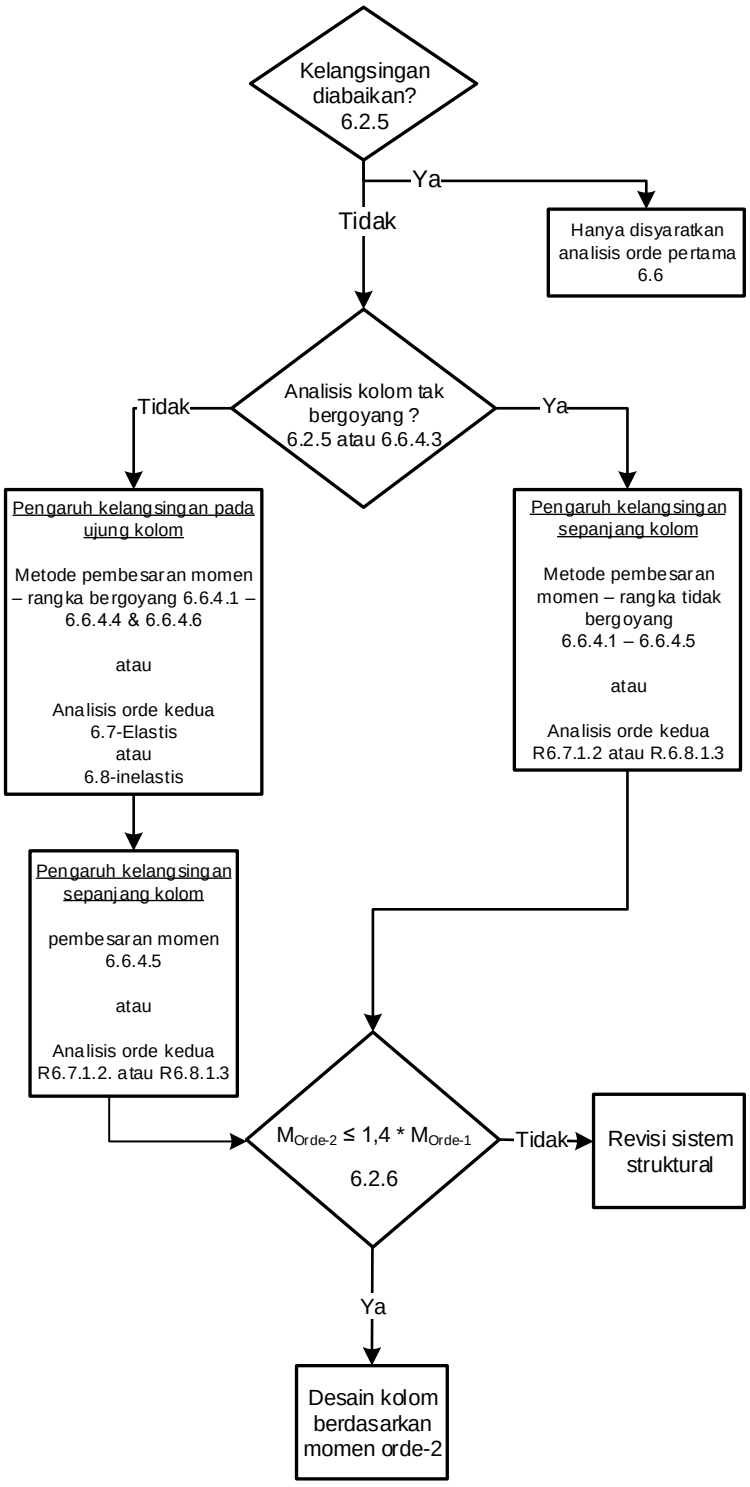
Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengevaluasi pengaruh kelangsingan pada komponen-komponen struktur tekan terhadap beban lentur biaksial. Review terhadap metode-metode ini disajikan oleh Furlong et al., (2004).

Bila berat struktur memiliki proporsi yang tinggi terhadap kekakuan lateral akibat pengaruh $P\Delta$ berlebih dapat menghasilkan momen-momen sekunder yang lebih besar 25 persen dari momen-momen primer. Pengaruh $P\Delta$ nantinya dapat menghasilkan singularitas dalam solusi persamaan-persamaan keseimbangan, mengindikasikan ketidakstabilan fisik struktur (Wilson 1997). Penelitian secara analitis (McGregor dan Hage 1977) pada rangka beton bertulang menunjukkan bahwa probabilitas kegagalan stabilitas meningkat secara cepat bilamana indeks stabilitas Q, didefinisikan dalam 6.6.4.4.1 melebihi 0,2, yang ekuivalen dengan rasio momen sekunder-primer sebesar 1,25. Berdasarkan ASCE/SEI 7, nilai maksimum koefisien stabilitas θ, yang mendekati nilai koefisien stabilitas ACI Q adalah 0,25. Nilai 0,25 adalah ekuivalen dengan rasio momen sekunder-primer sebesar 1,33. Sehingga batas atas 1,4 dipilih untuk rasio momen sekunder-primer.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**



Gambar R6.2.6 – Diagram alir untuk penentuan pengaruh kelangsingan kolom

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.3 - Asumsi pemodelan	**R6.3 Asumsi pemodelan**
6.3.1 *Umum*	**R6.3.1** *Umum*
6.3.1.1 Kekakuan relatif dari komponen-komponen dalam sistem struktur harus berdasarkan pada asumsi-asumsi yang masuk akal dan konsisten.	**R6.3.1.1** Idealnya, kekakuan komponen struktur E_cI dan GJ harus merefleksikan derajat keretakan dan aksi inelastis yang telah terjadi pada masing-masing komponen struktur sebelum terjadi kelelehannya. Namun, kompleksitas dalam menentukan perbedaan kekakuan untuk semua komponen struktur dari suatu rangka dapat membuat analisis rangka menjadi tidak efisien dalam proses desain. Asumsi-asumsi sederhana dibutuhkan untuk mendefinisikan kekakuan-kekakuan lentur dan torsi. Untuk rangka berpengaku (*braced*), nilai relatif kekakuan sangat penting. Asumsi yang sering digunakan adalah $0{,}5I_g$ untuk balok dan I_g untuk kolom. Untuk rangka bergoyang, sebuah estimasi yang realistik untuk I diharapkan dan harus digunakan jika analisis orde kedua dikerjakan. Petunjuk untuk memilih I pada kasus ini diberikan dalam 6.6.3.1. Dua kondisi yang menentukan keharusan untuk mempertimbangkan kekakuan torsi dalam analisis suatu struktur yang ditinjau: 1) besaran relatif antara kekakuan torsi dan lentur; 2) bilamana torsi diperlukan untuk keseimbangan struktur (torsi keseimbangan) atau akibat komponen-komponen struktur torsi untuk menjaga kompatibilitas defomasi (torsi kompatibilitas). Pada kasus torsi kompatibilitas, kekakuan torsi dapat diabaikan. Untuk kasus torsi keseimbangan, kekakuan torsi harus diperhitungkan.
6.3.1.2 Untuk menghitung momen dan geser akibat beban gravitasi pada kolom, balok dan pelat, diizinkan untuk menggunakan sebuah model yang dibatasi oleh komponen-komponen struktur pada tingkat yang ditinjau dan kolom-kolom di atas dan di bawah tingkat tersebut. Diizinkan untuk mengasumsikan ujung jauh kolom yang dibangun menyatu dengan struktur dianggap sebagai terjepit.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

6.3.1.3 Model analisis harus memperhitungkan pengaruh perbedaaan properti penampang komponen struktur seperti pengaruh *haunches*.

6.3.2 *Geometri Balok-T*

6.3.2.1 Untuk Balok-T nonprategang yang dibuat menyatu (monolit) atau pelat komposit, lebar efektif sayap b_f harus mencakup lebar badan balok b_w ditambah lebar efektif sayap yang menjorok sesuai Tabel 6.3.2.1, dimana h adalah ketebalan pelat dan s_w adalah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

Tabel 6.3.2.1 – Batasan dimensi lebar sayap efektif untuk Balok-T

Lokasi sayap	Lebar sayap efektif, di luar penampang balok	
Kedua sisi balok	Sekurangnya:	$8h$
		$s_w/2$
		$\ell_n/8$
Satu sisi balok	Sekurangnya:	$6h$
		$s_w/2$
		$\ell_n/12$

6.3.2.2 Balok-T nonprategang terpisah, dimana sayap T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang atau sama dengan $0{,}5b_w$ dan lebar efektif sayap tidak lebih atau sama dengan $4b_w$.

6.3.2.3 Balok-T prategang, diizinkan untuk menggunakan geometri yang diberikan dalam 6.3.2.1 dan 6.3.2.2.

PENJELASAN

R6.3.1.3 Kekakuan dan koefisien momen-jepit untuk komponen-komponen *haunched* dapat diperoleh dari Portland Cement Association (1972).

R6.3.2 *Geometri Balok-T*

R6.3.2.1 Dalam ACI 318-11, lebar efektif pelat sebagai sayap balok-T dibatasi seperempat bentang. Standar ini sekarang membolehkan seperdelapan bentang pada setiap sisi badan balok. Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan Tabel 6.3.2.1 dan tidak memiliki dampak berarti dalam desain.

R6.3.2.3 Ketentuan-ketentuan empiris 6.3.2.1 dan 6.3.2.2 telah dikembangkan untuk balok-T nonprategang. Lebar sayap dalam 6.3.2.1 dan 6.3.2.2 harus digunakan terkecuali pengalaman telah membuktikan perbedaan tersebut tetap aman dan mencukupi. Meskipun banyak standar produk prategang yang digunakan saat ini tidak memenuhi persyaratan-persyaratan lebar sayaf efektif dalam 6.3.2.1 dan 6.3.2.2, hal tersebut tetap menunjukkan kinerja yang terpenuhi. Sehingga penentuan lebar efektif sayap balok-T prategang diserahkan pada pengalaman dan pertimbangan dari perencana ahli bersertifikat. Hal ini tidak selalu menjadi pertimbangan konservatif dalam analisis elastis dan pertimbangan desain untuk menggunakan lebar

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	maksimum sayap seperti yang diizinkan oleh 6.3.2.1.
6.4 - Pengaturan beban hidup	**R6.4 - Pengaturan beban hidup**
6.4.1 Untuk perencanaan lantai dan atap dalam menahan beban gravitasi, diizinkan bahwa beban hidup dapat dianggap hanya bekerja pada lantai atau atap yang sedang ditinjau.	
6.4.2 Untuk pelat satu arah dan balok, diizinkan untuk mengasumsikan a) dan b): a) Momen positif maksimum M_u di dekat tengah bentang terjadi dengan beban hidup terfaktor L yang bekerja penuh pada bentang dan pada bentang yang berselang-seling. b) Momen negatif maksimum M_u di tumpuan terjadi dengan beban hidup terfaktor L yang bekerja penuh hanya pada bentang yang berdekatan.	**R6.4.2** Perencana diharapkan untuk membuat sekumpulan gaya desain yang paling menentukan dengan menginvestigasi pengaruh-pengaruh beban hidup yang ditempatkan dalam berbagai pola yang kritis.
6.4.3 Untuk sistem pelat dua arah, momen terfaktor harus dihitung sesuai 6.4.3.1, 6.4.3.2, atau 6.4.3.3, dan tidak kurang dari momen yang yang dihasilkan dari beban hidup terfaktor L yang diaplikasikan secara serentak pada semua panel.	
6.4.3.1 Bila pola pengaturan beban hidup L diketahui maka sistem pelat harus dianalisis terhadap pola pengaturan beban tersebut.	
6.4.3.2 Bila beban hidup L bervariasi tetapi tidak melebihi tigaperempat beban mati ($0{,}75D$), atau bila kondisi dari beban hidup adalah sedemikian hingga semua panel akan terbebani secara penuh bersama-sama, maka momen terfaktor maksimum M_u boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup penuh terfaktor L pada seluruh sistem pelat.	
6.4.3.3 Untuk kondisi beban selain dari yang didefinisikan pada 6.4.3.1 atau 6.4.3.2, diizinkan untuk menggunakan asumsi a) dan b): a) Momen positif maksimum terfaktor M_u di dekat tengah bentang dari suatu panel terjadi bilamana 75 persen beban hidup terfaktor L diaplikasikan pada panel	**R6.4.3.3** Pengunaan hanya 75 % beban hidup terfaktor penuh untuk pola pembebanan momen maksimum berdasarkan fakta bahwa momen negatif maskimum dan positif maksimum akibat beban hidup tidak dapat terjadi secara bersamaan dan bahwa redistribusi momen maksimum mungkin terjadi sebelum terjadi kegagalan. Prosedur ini,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
yang ditinjau dan pada panel-panel lain secara berselang b) Momen negatif maksimum terfaktor M_u pada tumpuan terjadi bilamana 75 persen beban hidup terfaktor L diaplikasikan pada panel-panel bersebelahan saja.	kenyataannya, mengizinkan tegangan lokal sedikit berlebih akibat beban hidup terfaktor penuh jika didistribusikan dalam cara yang diatur sebelumnya, tetapi tetap memastikan bahwa kapasitas sistem pelat setelah redistribusi momen masih tidak kurang dari yang disyaratkan untuk memikul beban mati dan beban hidup penuh terfaktor pada semua panel.
6.5 - Metode pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang	**R6.5 - Metode pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang**
6.5.1 Untuk menghitung M_u dan V_u akibat beban gravitasi diizinkan menggunakan ketentuan ini untuk balok menerus dan pelat satu arah asalkan a) hingga e) dipenuhi: a) Komponen struktur adalah prismatis b) Beban terdistribusi merata c) Beban hidup tak terfaktor tidak melebihi tiga kali beban mati tak terfaktor $(L \leq 3D)$ d) Terdapat dua bentang atau lebih e) Panjang bentang terbesar terhadap panjang bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 20 %.	
6.5.2 M_u akibat beban gravitasi harus dihitung berdasarkan Tabel 6.5.2.	**R6.5.2** Momen dan geser pendekatan memberikan nilai konservatif untuk kondisi tertentu jika balok menerus dan pelat satu arah merupakan bagian dari sebuah rangka atau konstruksi yang menerus. Karena pola beban yang menghasilkan nilai kritis untuk momen pada kolom dari rangka berbeda dari yang menghasilkan momen negatif maksimum pada balok, momen kolom harus dievaluasi secara terpisah.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 6.5.2 ─ Momen pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang

Momen	Lokasi	Kondisi	M_u
Positif	Bentang ujung	Ujung tak menerus dan monolit dengan perletakan	$w_u\ell_n^2/14$
		Ujung tak menerus dan tidak terkekang	$w_u\ell_n^2/11$
	Bentang tengah	Semua	$w_u\ell_n^2/16$
Negatif[1]	Muka interior dari pendukung eksterior	Balok menyatu secara monolit dengan balok spandrel pendukung	$w_u\ell_n^2/24$
		Balok monolit dengan kolom pendukung	$w_u\ell_n^2/16$
	Muka eksterior dari pendukung interior pertama	Dua bentang	$w_u\ell_n^2/9$
		Lebih dari dua bentang	$w_u\ell_n^2/10$
	Muka dari pendukung lainnya	Semua	$w_u\ell_n^2/11$
	Muka semua pendukung memenuhi (a) atau (b)	(a) Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3 m (b) Balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada setiap ujung bentangnya	$w_u\ell_n^2/12$

[1]Untuk menghitung momen negatif, ℓ_n harus diambil rata-rata panjang bentang bersih bersebelahan

6.5.3 Momen yang dihitung sesuai 6.5.2 tidak boleh diredistribusikan.

6.5.4 V_u akibat beban gravitasi harus dihitung berdasarkan Tabel 6.5.4.

Tabel 6.5.4 ─ Geser pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang

Lokasi	V_u
Muka eksterior dari pendukung muka interior pertama	$1{,}15w_u\ell_n/2$
Muka dari pendukung lainnya	$w_u\ell_n/2$

PENJELASAN

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.5.5 Momen-momen yang bekerja pada setiap tingkat lantai atau atap harus ditahan dengan mendistribusikan momen pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekangan pada ujung kolom.	**R6.5.5** Pasal ini untuk memastikan bahwa momen-momen dimasukkan dalam desain kolom. Momen merujuk pada perbedaan antara momen ujung komponen struktur yang merangka pada kolom dan yang diterapkan pada garis-pusat kolom.
6.6 - Analisis orde pertama **6.6.1** *Umum*	**R6.6 - Analisis orde pertama** **R6.6.1** *Umum*
6.6.1.1 Pengaruh kelangsingan harus diperhitungkan berdasarkan 6.6.4, terkecuali dapat diabaikan berdasarkan 6.2.5.	**R6.6.1.1** Bilamana menggunakan analisis orde pertama, pengaruh kelangsingan dihitung menggunakan pendekatan pembesaran momen (MacGregor et al.,1970; MacGregor 1993; Ford et al., 1981).
6.6.1.2 Redistribusi momen yang dihitung dengan analisis elastis orde pertama diperbolehkan berdasarkan 6.6.5.	
6.6.2 *Pemodelan komponen struktur dan sistem struktur.*	**R6.6.2** *Pemodelan komponen struktur dan sistem struktur.*
6.6.2.1 Momen-momen yang bekerja pada setiap tingkat lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekangan pada ujung kolom.	**R6.6.2.1** Pasal ini untuk memastikan bahwa momen-momen dimasukkan dalam desain kolom apabila komponen-komponen struktur telah diproporsikan menggunakan 6.5.1 dan 6.5.2. Momen merujuk pada perbedaan antara momen ujung komponen struktur yang merangka pada kolom dan yang diterapkan pada garis-pusat kolom.
6.6.2.2 Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris karena sebab lainnya juga harus diperhitungkan.	
6.6.2.3 Diizinkan untuk menyederhanakan model analisis dengan mengasumsikan a), b) atau keduanya: a) Pelat atau pelat berusuk, yang bentang bersihnya tidak lebih dari 3 m dan yang dibuat menyatu dengan komponen struktur pendukung dapat dianalisis sebagai pelat menerus di atas banyak tumpuan dengan jarak tumpuan sebesar bentang bersih	**R6.6.2.3** Fitur umum pada software modern analisis struktur rangka adalah asumsi sambungan kaku (*rigid*). Pasal 6.6.2.3(b) ditujukan untuk penggunaan komponen saling-menyilang pada rangka seperti *joint* balok-kolom.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pelat dan pengaruh lebar struktur balok pendukung dapat diabaikan. b) Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, diizinkan untuk mengasumsikan daerah pertemuan komponen struktur sebagai sambungan kaku.	
6.6.3 *Properti penampang*	**R6.6.3** *Properti penampang*
6.6.3.1 *Analisis beban terfaktor*	**R6.6.3.1** *Analisis beban terfaktor* – Untuk analisis beban lateral, kekakuan dapat menggunakan salah satu dari yang diberikan dalam 6.6.3.1.1 atau 6.6.3.1.2. Ketentuan-ketentuan ini keduanya menggunakan perkiraan kekakuan untuk sistem bangunan beton bertulang dibebani mendekati atau melewati level kelelehan, dan telah menunjukkan korelasi hasil yang mendekati baik secara eksperimental maupun secara analisis detail (Moehle 1992; Lepage 1998). Untuk beban diakibatkan gempa, penggunaan 6.6.3.1.1 atau 6.6.3.1.2 membutuhkan faktor amplifikasi defleksi untuk memperhitungkan deformasi inelastis. Secara umum properti penampang efektif, E_c didefinisikan dalam 19.2.2, A seperti di Tabel 6.6.3.1.1(a), dan modulus geser dapat diambil sebesar $0{,}4E_c$.
6.6.3.1.1 Momen inersia dan luas penampang komponen struktur harus dihitung berdasarkan Tabel 6.6.3.1.1(a) atau 6.6.3.1.1(b), terkecuali digunakan analisis yang lebih teliti. Bila terdapat beban lateral yang bekerja bersifat tetap, I untuk kolom dan dinding harus dibagi dengan $(1 + \beta_{ds})$, dimana β_{ds} adalah rasio geser tetap terfaktor maksimum pada suatu tingkat terhadap geser terfaktor maksimum pada tingkat tersebut dihubungkan dengan kombinasi beban yang sama.	**R6.6.3.1.1** Nilai I dan A telah dipilih dari hasil uji dan analisis rangka dan menyertakan tambahan untuk variabilitas defleksi yang dihitung. Momen inersia diambil dari MacGregor dan Hage (1977), yang dikalikan dengan faktor reduksi kekakuan sebesar $\phi_K = 0{,}875$ (mengacu pada R6.6.4.5.2). Sebagi contoh, momen inersia kolom adalah $0{,}875(0{,}80I_g) = 0{,}70I_g$. Momen inersia balok-T harus didasarkan pada lebar sayap efektif yang didefinisikan dalam 6.3.2.1 atau 6.3.2.2. Pada umumnya cukup akurat untuk mengambil I_g balok-T sebesar $2I_g$ untuk badan, $2(b_w h^3/12)$. Jika momen dan geser terfaktor dari analisis berdasarkan pada momen inersia dinding yang diambil sebesar $0{,}70I_g$ menunjukkan bahwa dinding akan retak oleh lentur, berdasarkan pada modulus runtuh (*rupture*), analisis harus diulang dengan $I = 0{,}35I_g$ di tingkat-tingkat dimana

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 6.6.3.1.1(a) – Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis elastis pada level beban terfaktor

Bagian dan kondisi		Momen inersia	Luas penampang
Kolom		0,70 I_g	1,0A_g
Dinding	Tidak retak	0,70 I_g	
	Retak	0,35 I_g	
Balok		0,35 I_g	
Pelat datar dan *slab* datar		0,25 I_g	

Tabel 6.6.3.1.1(b) – Momen inersia alternatif untuk analisis elastis pada level beban terfaktor

Bagian	Nilai alternatif I untuk analisis elastisitas		
	Minimum	I	Maksimum
Kolom dan dinding	0,35I_g	$\left(0{,}80+25\frac{A_{st}}{A_g}\right)\times\left(1-\frac{M_u}{P_u h}-0{,}5\frac{P_u}{P_o}\right)I_g$	0,875I_g
Balok, pelat datar dan *slab* datar	0,25I_g	$(0{,}10+25\rho)\times\left(1{,}2-0{,}2\frac{b_w}{d}\right)I_g$	0,5I_g

Catatan: Untuk komponen struktur lentur menerus, I boleh diambil sebagai rata-rata nilai yang diperoleh dari penampang momen positif dan negatif kritis. P_u dan M_u harus dihitung dari kombinasi beban tertentu yang ditinjau, atau kombinasi P_u dan M_u yang menghasilkan nilai I yang terkecil.

6.6.3.1.2 Untuk analisis beban lateral terfaktor diizinkan untuk mengasumsikan $I = 0{,}5I_g$ untuk semua komponen struktur atau dengan menghitung I dengan analisis yang lebih detil yang memperhitungkan reduksi kekakuan semua komponen struktur terhadap kondisi pembebanan.

PENJELASAN

retak diprediksi akan terjadi oleh beban terfaktor.

Nilai momen inersia diturunkan untuk komponen struktur nonprategang. Untuk komponen struktur prategang, momen inersia bisa berbeda tergantung pada jumlah, lokasi, tipe penulangan dan derajat retak sebelum mencapai beban ultimit. Nilai kekakuan untuk komponen struktur prategang harus menyertakan cadangan untuk variablilitas kekakuan.

Persamaan dalam Tabel 6.6.3.1.1(b) memberikan nilai I yang lebih akurat yang mempertimbangkan beban aksial, eksentrisitas, rasio tulangan dan kuat tekan beton yang diberikan oleh Khuntia dan Gosh (2004a, b). Kekakuan yang diberikan dalam acuan ini dapat digunakan untuk semua level beban termasuk beban layan dan ultimit dan mempertimbangkan faktor reduksi kekakuan ϕ_K yang sebanding dengan momen inersia yang terdapat dalam Tabel 6.6.3.1.1(a). Untuk penggunaan pada level-level beban selain ultimit, P_u dan M_u harus digantikan dengan nilai yang sesuai dengan level beban yang ditinjau.

R6.6.3.1.2 Defleksi lateral sebuah struktur akibat beban lateral terfaktor bisa sangat berbeda dari yang dihitung menggunakan analisis linear, sebagian karena respons inelastis komponen struktur dan penurunan kekakuan efektif. Pemilihan kekakuan efektif yang sesuai untuk rangka beton bertulang memiliki dua tujuan: 1) untuk memberikan estimasi defleksi lateral yang realistis; dan 2) untuk menentukan defleksi-aksi beban pada sistem gravitasi struktur. Analisis nonlinear yang detail pada struktur dapat menangkap kedua pengaruh ini. Cara sederhana untuk mengestimasi ekuivalen defleksi lateral nonlinear ekuivalen menggunakan analisis linear adalah dengan mereduksi kekakuan model komponen-komponen struktur beton. Jenis analisis beban lateral

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	mempengaruhi pemilihan nilai kekakuan efektif yang sesuai. Untuk analisis beban angin, yang diharapkan mencegah terjadi aksi nonlinear struktur, kekakuan efektif yang merepresentasikan perilaku pra-leleh menjadi tepat. Untuk beban gempa, level deformasi nonlinear tergantung kinerja struktur dan interval kejadian ulang gempa yang ditinjau. Variasi derajat keyakinan dapat diperoleh dari analisis linear sederhana tergantung pada ketelitian komputasi yang digunakan untuk menentukan kekakuan efektif setiap komponen struktur. Reduksi kekakuan dapat didasarkan pada kekakuan sekan (*secant*) ke titik saat leleh atau setelah leleh atau, bila kelelehan tidak diharapkan, ke titik sebelum leleh terjadi.
6.6.3.1.3 Untuk analisis beban lateral terfaktor sistem pelat dua arah tanpa balok, yang direncanakan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya gempa, I untuk komponen pelat harus didefinisikan dengan sebuah model yang sangat sesuai dengan hasil uji dan anlisis yang komprehensif dan I untuk komponen rangka lainnya harus sesuai 6.6.3.1.1 dan 6.6.3.1.2.	**R6.6.3.1.3** Analisis gedung dengan sistem pelat dua arah tanpa balok memerlukan model yang mampu menyalurkan beban lateral di antara komponen-komponen struktur vertikal. Model harus menghasilkan prediksi kekakuan yang sesuai dengan hasil uji dan analisis yang komprehensif. Beberapa model yang dapat diterima telah diusulkan untuk menjawab tujuan hal ini (Vanderbilt dan Corley 1983; Hwang dan Moehle 2000; Dovich dan Wight 2005).
6.6.3.2 *Analisis beban layan*	**R6.6.3.2** *Analisis beban layan*
6.6.3.2.1 Defleksi seketika dan jangka panjang akibat beban gravitasi harus dihitung sesuai 24.2.	
6.6.3.2.2 Diizinkan untuk menghitung defleksi lateral seketika menggunakan momen inersia 1,4 kali I yang didefinisikan di 6.6.3.1 atau menggunakan analisis yang lebih detail tetapi tidak boleh melebihi I_g.	**R6.6.3.2.2** Analisis defleksi, vibrasi dan perioda gedung dibutuhkan pada berbagai level beban layan (tak terfaktor) (Grossman 1987) untuk menentukan kinerja struktur saat layan. Momen inersia komponen-komponen struktur dalam analisis beban layan harus mencerminkan derajat keretakan pada berbagai level beban layan yang diinvestigasi. Kecuali terdapat estimasi derajat keretakan yang lebih akurat, diperbolehkan menggunakan 1,0/0,70 = 1,4 kali momen inersia yang diberikan pada 6.6.3.1, tidak melebihi I_g, untuk analisis beban layan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

6.6.4 *Pengaruh kelangsingan, metode pembesaran momen*

6.6.4.1 Kecuali memenuhi 6.2.5, kolom dan tingkat pada struktur harus ditetapkan sebagai kolom atau tingkat tidak bergoyang atau bergoyang. Analisis kolom pada rangka atau tingkat tak bergoyang harus didasarkan pada 6.6.4.5. Analisis kolom pada rangka atau tingkat bergoyang harus didasarkan pada 6.6.4.6.

PENJELASAN

R6.6.4 *Pengaruh kelangsingan, metode pembesaran momen.*

R6.6.4.1 Pasal ini menjelaskan prosedur desain pendekatan yang menggunakan konsep pembesaran momen untuk memperhitungkan pengaruh kelangsingan. Momen yang dihitung menggunakan analisis rangka orde pertama yang biasa dikalikan dengan pembesaran momen yang merupakan fungsi dari beban aksial terfaktor P_u dan beban tekuk kritis P_c untuk kolom. Untuk kasus rangka bergoyang, pembesaran momen adalah fungsi penjumlahan P_u suatu tingkat dan penjumlahan P_c kolom-kolom yang goyangan-tertahan pada lantai tingkat yang ditinjau. Rangka tak bergoyang dan bergoyang diperlakukan secara terpisah. Analisis rangka orde pertama adalah analisis elastis yang tidak menyertakan pengaruh gaya internal yang dihasilkan dari defleksi.

Metode desain pembesaran momen mensyaratkan perencana untuk membedakan antara rangka tak bergoyang yang didesain menurut 6.6.4.5 dan rangka bergoyang yang didesain menurut 6.6.4.6. Seringkali ini dapat diperiksa dengan membandingkan kekakuan kolom lateral total di suatu tingkat dengan kekakuan elemen pengaku (*bracing*). Suatu komponen struktur tekan seperti kolom, dinding dan bresing, bisa diasumsikan tak bergoyang dengan pemeriksaan jika komponen struktur tersebut berlokasi di suatu tingkat dimana elemen pengaku (dinding geser, rangka batang (*truss*) geser, atau tipe bresing lateral lainnya) mempunyai kekakuan lateral yang cukup besar untuk menahan defleksi lateral tingat itu sehingga semua defleksi lateral yang dihasilkan tidak cukup besar untuk banyak mempengaruhi kuat kolomnya. Jika tidak jelas terlihat dengan pemeriksaan, 6.6.4.3 memberikan dua cara yang mungkin untuk melakukan ini jika goyangan dapat diabaikan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
6.6.4.2 Dimensi penampang setiap komponen struktur yang digunakan dalam analisis harus berada dalam 10 persen dimensi komponen struktur yang ditunjukkan pada dokumen perencanaan atau analisisnya harus diulang. Bila kekakuan dalam Tabel 6.6.3.1.1(b) digunakan dalam analisis, asumsi rasio tulangan juga harus berada dalam 10 persen rasio tulangan yang ditunjukkan pada dokumen perencanaan.	
6.6.4.3 Kolom dan tingkat pada struktur boleh dianggap tak bergoyang bilamana a) atau b) terpenuhi: a) Pembesaran momen-momen ujung kolom akibat pengaruh orde kedua tidak melebihi 5 persen dari momen-momen ujung kolom orde pertama. b) Q sesuai 6.6.4.4.1 tidak melebihi 0,05.	**R6.6.4.3** Dalam 6.6.4.3(a), suatu tingkat pada sebuah rangka dikatakan sebagai tak bergoyang jika kenaikan momen beban lateral yang dihasilkan dari pengaruh $P\Delta$ tidak melebihi 5 persen dari momen orde pertama (MacGregor dan Hage 1977). Pasal 6.6.4.3(b) memberikan metode alternatif untuk menentukan ini berdasarkan pada indeks stabilitas Q untuk suatu tingkat. Dalam perhitungan Q, $\sum P_u$, harus sesuai dengan kasus pembebanan lateral $\sum P_u$ dimana adalah yang terbesar. Struktur rangka bisa mengandung baik tingkat yang tak bergoyang maupun bergoyang. Jika defleksi beban lateral rangka telah dihitung menggunakan beban layan dan momen inersia beban layan memakai sesuai 6.6.3.2.2, maka diizinkan untuk menghitung Q dalam pers. (6.6.4.4.1) menggunakan 1,2 kali jumlah beban gravitasi layan, beban geser layan tingkat dan 1,4 kali defleksi orde pertama suatu tingkat beban layan.
6.6.4.4 *Properti stabilitas*	**R6.6.4.4** *Properti stabilitas*
6.6.4.4.1 Indeks stabilitas untuk satu tingkat Q harus dihitung dengan: $$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} \ell_c} \qquad (6.6.4.4.1)$$ dimana ΣP_u adalah beban vertikal total dan V_{us} adalah gaya geser lantai total pada tingkat yang ditinjau, dan Δ_0 adalah simpangan relatif antar tingkat orde pertama pada tingkat yang ditinjau akibat V_{us}.	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.6.4.4.2 Beban tekuk kritis P_c harus dihitung dengan: $$P_c = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{(k\ell_u)^2} \quad (6.6.4.4.2)$$	**R6.6.4.4.2** Dalam menentukan beban kritis aksial tekuk, permasalahan utamanya adalah pemilihan kekakuan $(EI)_{eff}$ yang cukup mendekati variasi kekakuan akibat retak, rangkak, dan ketidak-linearan kurva tegangan-regangan beton. Pasal 6.6.4.4.4 dan 6.6.4.4.5 dapat digunakan untuk menghitung $(EI)_{eff}$.
6.6.4.4.3 Faktor panjang efektif harus ditentukan menggunakan nilai E_c sesuai 19.2.2 dan I yang diberikan di 6.6.3.1.1. Untuk komponen struktur tidak bergoyang k boleh diambil sebesar 1,0 dan untuk komponen struktur bergoyang k tidak boleh kurang dari 1,0.	**R6.6.4.4.3** Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan, seperti kolom, dinding atau bresing, dengan mempertimbangkan perilaku pengaku, berkisar antara 0,5 hingga 1,0. Direkomendasikan bahwa nilai k sebesar 1,0. Bila nilai k yang digunakan lebih rendah, maka perhitungan nilai k harus didasarkan pada analisis rangka menggunakan nilai I yang diberikan sesuai 6.6.3.1.1. *Jackson and Moreland Alignment Charts* (Gambar R6.2.5) dapat digunakan untuk mengestimasi nilai k yang sesuai (ACI SP-17(09); Column Reseach Council 1966).
6.6.4.4.4 Untuk kolom nonkomposit, $(EI)_{eff}$ harus dihitung berdasarkan a), b) atau c): a) $(EI)_{eff} = \frac{0,4E_cI_g}{1+\beta_{dns}}$ (6.6.4.4.4a) b) $(EI)_{eff} = \frac{(0,2E_cI_g + E_sI_{se})}{1+\beta_{dns}}$ (6.6.4.4.4b) c) $(EI)_{eff} = \frac{E_cI}{1+\beta_{dns}}$ (6.6.4.4.4c) dimana β_{dns} harus diambil sebagai rasio beban tetap aksial maksimum terfaktor yang dikaitkan dengan kombinasi beban yang sama, dan I dalam Pers. (6.6.4.4.4c) dihitung berdasarkan Tabel 6.6.3.1.1(b) untuk kolom dan dinding.	**R6.6.4.4.4** Pembilang untuk Pers. (6.6.4.4.4a) hingga (6.6.4.4.4c) menunjukkan kekakuan kolom jangka-pendek. Pers. (6.6.4.4.4b) diturunkan untuk rasio eksentrisitas yang kecil dan tingkat beban aksial yang tinggi. Pers. (6.6.4.4.4a) adalah pendekatan yang disederhanakan dari Pers. (6.6.4.4.4b) dan kurang akurat (Mirza 1990). Untuk akurasi yang lebih baik, $(EI)_{eff}$ dapat didekati dengan Pers. (6.6.4.4.4c) Rangkak akibat beban tetap akan meningkatkan defleksi lateral kolom dan karenanya terjadi pembesaran momen. Untuk desain, hal ini didekati dengan mereduksi kekakuan $(EI)_{eff}$ yang digunakan untuk menghitung P_c dan kemudian δ yang membagi EI jangka pendek yang diberikan oleh pembilang Pers. (6.6.4.4.4a) hingga (6.6.4.4.4c) dengan $(1+\beta_{dns})$. Untuk penyederhanaan, dapat diasumsikan β_{dns}=0,6. Bila hal ini dilakukan pers. (6.6.4.4.4a) menjadi $(EI)_{eff} = 0,25E_cI_g$. Untuk kolom beton bertulang yang dikenai beban tetap, rangkak mentransfer sebagian beban dari beton ke tulangan longitudinal, meningkatkan tegangan baja

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tulangan. Dalam kasus kolom bertulangan ringan, transfer beban ini dapat mengakibatkan tulangan tekan mengalami leleh secara prematur, mengakibatkan kehilangan EI efektifnya. Sesuai dengannya, kedua suku beton dan baja tulangan dalam Pers. (6.6.4.4.4b) direduksi untuk memperhitungkan rangkak.
6.6.4.4.5 Untuk kolom komposit, $(EI)_{eff}$ harus dihitung dengan Pers. (6.6.4.4.4b), Pers. (6.6.4.4.5) atau dari analisis yang lebih detil. $(EI)_{eff} = \frac{(0,2E_cI_g)}{1+\beta_{dns}} + E_sI_{sx}$ (6.6.4.4.5)	**R6.6.4.4.5** Untuk kolom komposit dimana pipa atau profil struktural memberikan persentase penampang yang besar, transfer beban akibat rangkak tidak signifikan. Sesuai dengannya, hanya EI beton dalam Pers. (6.6.4.4.5) yang direduksi untuk pengaruh beban tetap.
6.6.4.5 *Metode pembesaran momen: Rangka portal tidak bergoyang.*	**R6.6.4.5** *Metode pembesaran momen: Rangka portal tidak bergoyang*
6.6.4.5.1 Momen terfaktor yang digunakan untuk desain kolom dan dinding, M_c adalah momen terfaktor orde pertama M_2 yang diperbesar untuk pengaruh kurvatur komponen struktur. $M_c = \delta M_2$ (6.6.4.5.1)	
6.6.4.5.2 Faktor pembesaran δ harus dihitung dengan: $\delta = \frac{C_m}{1-\frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1,0$ (6.6.4.5.2)	**R6.6.4.5.2** Faktor 0,75 dalam Pers. (6.6.4.5.2) adalah faktor reduksi kekakuan ϕ_K, yang didasarkan probabilitas di bawah kekuatan untuk satu kolom langsing terisolasi. Studi-studi yang dilaporkan dalam Mirza et al. (1987) menunjukkan bahwa faktor reduksi kekakuan ϕ_K, dan faktor reduksi kekuatan ϕ penampang tidak mempunyai nilai yang sama. Studi-studi ini menyarankan faktor reduksi kekakuan ϕ_K, untuk kolom yang terisolasi harus sebesar 0,75 baik untuk kolom bersengkang maupun berspiral. Dalam kasus rangka portal bertingkat banyak, defleksi kolom dan rangka tergantung pada rata-rata kekuatan beton, dimana lebih tinggi daripada kekuatan beton pada kolom tunggal di bawah kekuatan kritikal. Untuk alasan ini, nilai ϕ_K, secara implisit terdapat dalam nilai I dalam 6.6.3.1.1 adalah 0,875.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.6.4.5.3 C_m harus dihitung dengan a) atau b): a) Untuk kolom tanpa beban transversal yang bekerja di antara tumpuannya $$C_m = 0,6 - 0,4\frac{M_1}{M_2}$$ (6.6.4.5.3a) dengan M_1/M_2 bernilai negatif bila kolom melentur dengan kelengkungan tunggal dan positif bila kolom melentur dengan kelengkungan ganda. M_1 dikaitkan dengan momen ujung dengan nilai absolut terkecil. b) Untuk kolom dengan beban transversal yang bekerja di antara tumpuannya. $C_m = 1,0$ (6.6.4.5.3b)	**R6.6.4.5.3** Faktor C_m adalah faktor koreksi berkaitan dengan diagram momen aktual terhadap diagram momen merata ekuivalen. Derivasi pembesaran momen mengasumsikan bahwa momen maksimum berada di atau dekat tengah ketinggian kolom. Jika momen terjadi di satu ujung kolom, desain harus didasarkan pada momen seragam ekuivalen C_mM_2 yang akan memberikan momen maksimum yang sama di atau dekat tengah ketinggian kolom bilamana dibesarkan (MacGregor et al.,1970). Perjanjian tanda M_1/M_2 telah diperbaharui sehingga M_1/M_2 adalah negatif jika kolom melentur dalam kurvatur tunggal, dan positif jika komponen struktur melentur dalam kurvatur ganda. Hal ini menunjukkan perubahan perjanjian tanda terhadap *ACI 318-2011.* Dalam kasus kolom-kolom yang dikenai pembebanan transversal di antara pendukungnya, momen maksimum mungkin akan terjadi pada penampang diluar ujung komponen struktur. Jika hal ini terjadi, nilai momen terbesar yang dihitung yang terjadi dimana saja sepanjang komponen struktur harus digunakan untuk nilai M_2 dalam Pers. (6.6.4.5.1). C_m diambil sebesar 1,0 untuk kasus ini.
6.6.4.5.4 M_2 dalam Pers. (6.6.4.5.1) tidak boleh kurang dari $M_{2,min}$ yang dihitung dengan Pers. (6.6.4.5.4) untuk masing-masing sumbu yang dihitung secara terpisah. $$M_{2,min} = P_u(15 + 0,03h)$$ (6.6.4.4.5.4) bila $M_{2,min}$ melampaui M_2, nilai C_m dalam harus diambil sama dengan 1,0, atau harus dihitung berdasarkan pada rasio momen ujung yang dihitung, M_1/M_2 menggunakan Pers. (6.6.4.5.3a).	**R6.6.4.5.4** Dalam standar ini, kelangsingan diperhitungkan dengan pembesaran momen ujung kolom. Jika momen kolom terfaktor sangat kecil atau nol, desain kolom langsing harus didasarkan pada eksentrisitas minimum yang diberikan dalam Pers. (6.6.4.5.4). Eksentrisitas minimum tidak dimaksudkan untuk diterapkan terhadap kedua sumbu secara serentak. Momen ujung kolom terfaktor dari analisis struktur digunakan dalam Pers. (6.6.4.5.3a) dalam menentukan rasio M_1/M_2 untuk kolom bilamana desain harus didasarkan pada eksentrisitas minimum. Hal ini mengeliminasi terjadinya diskontinuitas antara kolom dengan eksentrisitas yang dihitung kurang dari eksentrisitas yang dihitung sama dengan atau lebih besar dari eksentrisitas minimum.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

6.6.4.6 *Metode pembesaran momen: rangka portal bergoyang.*

6.6.4.6.1 Momen M_1 dan M_2, di ujung komponen struktur individu kolom harus dihitung dengan a) dan b).

a) $M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$ (6.6.4.6.1a)

b) $M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$ (6.6.4.6.1b)

6.6.4.6.2 Pembesar momen δ_s harus dihitung dengan a), b) atau c). Bila δ_s melebihi 1,5, hanya b) atau c) yang diizinkan:

a) $\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1$ (6.6.4.6.2a)

b) $\delta_s = \frac{1}{1-\frac{\Sigma P_u}{0{,}75\Sigma P_c}} \geq 1$ (6.6.4.6.2b)

c) Analisis elastis orde kedua

dengan ΣP_u adalah jumlah seluruh beban vertikal terfaktor yang bekerja pada suatu tingkat, dan ΣP_c adalah jumlah seluruh kapasitas tekan kolom-kolom bergoyang pada suatu tingkat. P_c dihitung dengan Pers. (6.6.4.4.2) menggunakan k untuk komponen struktur bergoyang dari 6.6.4.4.3 dan $(EI)_{eff}$ dari 6.6.4.4.4 atau 6.6.4.4.5 sesuai dengan β_{ds} menggantikan β_{dns}.

PENJELASAN

R6.6.4.6 *Metode pembesaran momen: rangka portal bergoyang.*

R6.6.4.6.1 Analisis yang dijelaskan dalam pasal ini hanya berkaitan dengan rangka bidang yang dikenai beban yang mengakibatkan defleksi dalam bidang itu. Jika defleksi beban lateral melibatkan perpindahan torsi yang signifikan, pembesaran momen pada kolom terjauh dari pusat torsi mungkin kurang dengan prosedur pembesaran momen. Dalam kasus tersebut, analisis orde kedua tiga dimensi harus digunakan.

R6.6.4.6.2 Tiga metode yang berbeda diizinkan untuk menghitung pembesaran momen. Pendekatan-pendekatan ini termasuk metode Q, konsep penjumlahan Q dan analisis elastis orde kedua.

(a) Metode Q

Analisis iteratif $P\Delta$ untuk momen orde kedua bisa diwakili dengan rangkaian yang tak hingga. Penyelesaian rangkaian ini diberikan oleh Pers. (6.6.4.6.2a) (MacGregor dan Hage 1977). Lai dan MacGregor (1983) menunjukkan bahwa Pers. (6.6.4.6.2a) cukup dekat memprediksi momen orde kedua dalam rangka bergoyang hingga δ_s melebihi 1,5. Diagram momen $P\Delta$ untuk kolom yang terdefleksi adalah melengkung, dengan Δ terkait dengan bentuk kolom yang terdefleksi. Pers (6.6.4.6.2a) dan kebanyakan analisis rangka orde kedua komersial yang tersedia telah diturunkan dengan mengasumsikan bahwa momen $P\Delta$ yang dihasilkan dari gaya-gaya yang sama dan berlawanan sebesar $P\Delta/\ell_c$ yang diterapkan di ujung bawah dan atas tingkat. Gaya-gaya ini memberikan diagram momen $P\Delta$ garis lurus. Diagram momen $P\Delta$ yang melengkung menghasilkan perpindahan lateral 15 persen lebih besar daripada perpindahan lateral dari diagram momen $P\Delta$ garis lurus. Pengaruh ini bisa diikutkan dalam Pers. (6.6.4.6.2a) dengan memakai penyebut sebesar $(1 - 1{,}15\,Q)$ daripada $(1 - Q)$. Faktor 1,15 telah ditanggalkan dari Pers. (6.6.4.6.2a) untuk penyederhanaan.

Jika defleksi telah dihitung menggunakan beban layan, Q dalam

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Pers. (6.6.4.6.2a) harus dihitung dengan cara yang dijelaskan dalam R6.6.4.3. Analisis faktor $\boldsymbol{Q}$ didasarkan pada defleksi yang dihitung menggunakan nilai $\boldsymbol{I}$ dari 6.6.3.1.1 yang menyertakan ekuivalen dari faktor reduksi kekakuan $\boldsymbol{\phi_K}$. Nilai $\boldsymbol{I}$ ini memberikan estimasi defleksi lateral yang berlebihan 20 hingga 25 persen yang sesuai dengan faktor reduksi kekakuan $\boldsymbol{\phi_K}$ antara 0,80 dan 0,85 pada momen $\boldsymbol{P\Delta}$. Tidak diperlukan faktor tambahan $\boldsymbol{\phi}$ dalam perhitungan stabilitas. Setelah momen diperoleh, pemilihan penampang kolom melibatkan faktor reduksi kekuatan $\boldsymbol{\phi}$ dari 21.2.2. (b) Konsep Penjumlahan $\boldsymbol{P}$ Untuk memeriksa pengaruh stabilitas tingkat, $\boldsymbol{\delta_s}$ dihitung sebagai nilai rata-rata untuk keseluruhan tingkat yang bersangkutan berdasarkan penggunaan $\boldsymbol{\Sigma P_u / \Sigma P_c}$. Hal ini merefleksikan interaksi semua kolom penahan goyangan pada tingkat tersebut oleh pengaruh $\boldsymbol{P\Delta}$ karena defleksi lateral semua kolom pada tingkat tersebut harus sama, dengan tiadanya perindahan torsi terhadap sumbu vertikal. Sebagai tambahan, ada kemungkinan kolom individual yang sangat langsing pada rangka bergoyang bisa mempunyai defleksi yang besar di tengah ketinggiannya meskipun defleksi ujung lateral telah ditahan secara cukup oleh kolom lainnya pada tingkat tersebut. Kolom seperti itu harus diperiksa menggunakan 6.6.4.6.4. 0,75 dalam penyebut Pers. (6.6.4.6.2b) merupakan faktor reduksi kekakuan $\boldsymbol{\phi_K}$ seperti dijelaskan dalam R6.6.4.5.2. Dalam perhitungan $(\boldsymbol{EI})_{\boldsymbol{eff}}$, $\boldsymbol{\beta_{ds}}$ normalnya akan bernilai nol untuk rangka bergoyang beban lateral pada umumnya berdurasi singkat. Defleksi goyangan akibat beban jangka pendek seperti angin atau gempa merupakan fungsi kekakuan kolom jangka pendek yang mengikuti periode beban gravitasi tetap. Untuk kasus ini definisi $\boldsymbol{\beta_{ds}}$ dalam 6.6.3.1.1 memberikan $\boldsymbol{\beta_{ds} = 0}$. Dalam kasus rangka bergoyang yang tidak biasa dimana beban lateral bersifat tetap, $\boldsymbol{\beta_{ds}}$ tidak akan nol. Hal ini mungkin terjadi jika bangunan di atas lapangan yang miring dikenai tekanan tanah pada satu sisinya tetapi tidak dikenai pada sisi lainnya.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
6.6.4.6.3 Komponen-komponen lentur (balok) harus direncanakan terhadap momen-momen ujung total yang diperbesar dari kolom-kolom yang bertemu pada *joint*.	**R6.6.4.6.3** Kekuatan rangka bergoyang ditentukan oleh stabilitas kolom dan oleh derajat kekangan ujung yang disediakan oleh balok dalam rangka tersebut. Jika sendi plastis terbentuk dalam balok pengekang, struktur tersebut mendekati mekanisme kegagalan dan kapasitas beban aksialnya secara drastis tereduksi. Pasal ini mensyaratkan kekangan komponen struktur lentur mempunyai kapasitas untuk menahan total pembesaran momen ujung kolom pada *joint*.
6.6.4.6.4 Pengaruh orde kedua harus diperhitungkan pada seluruh panjang kolom pada rangka bergoyang. Pengaruh ini boleh diperhitungkan menggunakan 6.6.4.5, dimana $\boldsymbol{C_m}$ dihitung menggunakan $\boldsymbol{M_1}$ dan $\boldsymbol{M_2}$ dari 6.6.4.6.1.	**R6.6.4.6.4** Momen maksimum komponen struktur tekan seperti kolom, dinding, atau bresing mungkin terjadi di antara ujung-ujungnya. Sedangkan program komputer analisis orde kedua mungkin digunakan untuk mengevaluasi pembesaran momen ujung, pembesaran di antara ujung-ujungnya mungkin tidak diperhitungkan kecuali komponen struktur dipecah-pecah sepanjang bentangnya. Pembesaran dapat dievaluasi menggunakan prosedur yang dijelaskan dalam 6.6.4.5.
6.6.5 *Redistribusi momen di komponen lentur menerus*	**R6.6.5** *Redistribusi momen di komponen lentur menerus* - Redistribusi momen tergantung pada daktilitas yang cukup di daerah sendi plastis. Daerah sendi plastis ini terbentuk di titik momen maksimum positif atau negatif dan mengakibatkan pergeseran pada diagram momen elastis. Biasanya hasilnya adalah reduksi pada nilai maksimum negatif di daerah tumpuan dan peningkatan nilai momen positif di antara tumpuan dari momen positif yang dihitung dengan analisis elastis. Karena momen negatif ditentukan dari sebuah susunan pembebanan dan momen positif dari susunan pembebanan lainnya (6.4.3 memberikan pengecualian untuk kondisi beban tertentu), pengurangan tulangan sewaktu-waktu dapat dilakukan dengan mengurangi maksimum momen positif elastis dan meningkatkan momen negatif, sehingga mendekat envelope maksimum momen negatif dan positif di setiap irisan penampang di manapun dalam bentang
6.6.5.1 Kecuali bila nilai pendekatan untuk momen digunakan sesuai 6.5, dengan momen-momen telah dihitung sesuai 6.8, atau momen-momen pelat dua-arah ditentukan menggunakan pola pembebanan yang ditentukan dalam 6.4.3.3, pengurangan momen-momen penampang dari momen negatif atau momen positif maksimum yang dihitung dengan teori elastis boleh dilakukan untuk semua asumsi pengaturan beban bilamana a) dan b) terpenuhi: a) komponen lentur adalah menerus b) $\boldsymbol{\varepsilon_t \geq 0{,}0075}$ pada penampang dimana momen direduksi.	
6.6.5.2 Untuk komponen struktur prategang, momen-momen harus termasuk momen-momen akibat beban terfaktor dan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

akibat reaksi yang ditimbulkan oleh prategang.

6.6.5.3 Pada penampang dimana momen dikurangi, redistribusi tidak boleh lebih yang terkecil dari $\mathbf{1000}\varepsilon_t$ persen dan 20 %.

6.6.5.4 Momen yang tereduksi harus digunakan untuk menghitung momen teredistribusi pada semua penampang lainnya dalam bentang sedemikian sehingga kesetimbangan statis harus dipertahankan setelah redistribusi momen untuk setiap pengaturan pembebanan.

6.6.5.5 Geser dan reaksi tumpuan harus dihitung sesuai dengan kesetimbangan statis memperhitungkan redistribusi momen untuk setiap pengaturan pembebanan.

PENJELASAN

(Bondy 2003). Sendi plastis tersebut memberikan pemanfaatan kapasitas penuh penampang komponen struktur lentur yang lebih banyak pada saat beban ultimit.

Standar redistribusi izin ditunjukkan dalam Gambar R.6.6.5. Dengan menggunakan nilai regangan beton ultimit yang konservatif dan panjang sendi plastis yang diturunkan dari hasil pengujian yang ekstensif, komponen struktur lentur dengan kapasitas rotasi yang kecil telah dianalisis untuk redistribusi momen hingga 20 persen tergantung rasio tulangan. Seperti diperlihatkan, persentase redistribusi izin adalah konservatif terhadap persentase terhitung yang tersedia untuk f_y=**420 MPa dan 550 MPa**. Studi oleh Cohn (1965) dan Mattock (1959) mendukung kesimpulan ini dan menunjukkan bahwa retak dan defleksi balok yang didesain dengan redistribusi momen tidak jauh lebih besar pada saat beban layan daripada untuk balok yang didesain distribusi momen teori elastis. Studi ini juga telah menunjukkan bahwa tersedia kapasitas rotasi yang cukup untuk redistribusi momen yang diperkenankan oleh standar ini jika komponen struktur tersebut memenuhi 6.6.5.1.

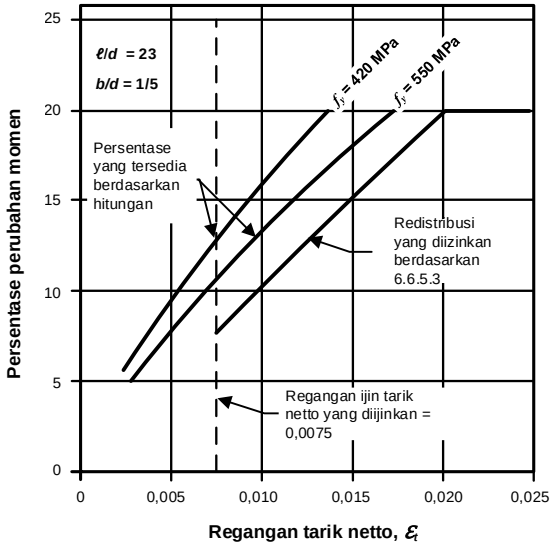
Ketentuan-ketentuan redistribusi momen berlaku sama untuk komponen struktur prategang (Mast 1992).

Deformasi elastis yang ditimbulkan oleh tendon yang ditarik secara tidak berurutan (*nonconcordant*) mengubah jumlah rotasi inelastis yang diperlukan untuk memperoleh sejumlah tertentu redistribusi momen. Sebaliknya, untuk balok dengan suatu kapasitas rotasi inelastis yang diketahui, jumlah dengan mana momen di perletakan bisa divariasikan dapat diubah oleh suatu jumlah yang sama dengan momen sekunder di tumpuan akibat prategang. Jadi, standar mensyaratkan momen sekunder disebabkan oleh reaksi perletakan yang dihasilkan oleh gaya penarikan harus dimasukkan dalam penentuan momen desain.

Redistribusi momen yang diizinkan oleh 6.6.5 tidak berlaku ketika nilai pendekatan momen lentur digunakan, seperti yang diberikan oleh metode pendekatan 6.5

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	atau metode desain langsung (*direct design method*) di 8.10 yang dinyatakan dalam 8.10.4.3, dimana 10 persen modifikasi momen diizinkan. Redistribusi momen juga tidak berlaku pada sistem pelat dua arah yang menggunakan analisis pola beban diberikan sesuai 6.4.3.3. Beban ini hanya menggunakan 75 persen beban hidup terfaktor penuh, yang mana memperhitungkan redistribusi momen.
	 **Gambar R.6.6.5 – Redistribusi momen yang diizinkan untuk kapasitas rotasi minimum**
6.7 - Analisis elastis orde kedua **6.7.1** *Umum*	**R6.7 - Analisis elastis orde kedua** **R6.7.1** *Umum* – Analisis elastis orde kedua, geometri struktur terdeformasi disertakan dalam persamaan keseimbangan sehingga pengaruh $P\Delta$ ditentukan. Struktur diasumsikan tetap elastis, tetapi pengaruh retak dan rangkak diperhitungkan dengan menggunakan reduksi kekakuan EI. Sebaliknya, analisis elastis orde kedua memenuhi persamaan keseimbangan menggunakan geometri tak terdeformasi dan estimasi pengaruh $P\Delta$ pembesaran momen kolom-ujung bergoyang menggunakan Pers. (6.6.4.6.2a) atau (6.6.4.6.2b).
6.7.1.1 Analisis elastis orde kedua harus memperhitungkan pengaruh beban aksial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur, dan pengaruh	**R6.7.1.1** Kekakuan EI yang digunakan dalam analisis untuk kekuatan desain harus mewakili kekakuan komponen struktur sesaat sebelum kegagalan. Hal ini

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
jangka waktu pembebanan. Pertimbangan ini terpenuhi dengan menggunakan properti penampang yang ditetapkan dalam 6.7.2.	sangat benar untuk analisis orde kedua yang harus memprediksi defleksi lateral saat beban mendekati ultimit. Nilai EI harus tidak secara total didasarkan pada hubungan momen-kurvatur untuk penampang yang terbebani paling tinggi di sepanjang bentang setiap komponen struktur. Sebagai gantinya, nilai EI tersebut harus sesuai dengan hubungan momen-rotasi ujung untuk komponen struktur yang lengkap. Untuk menyertakan variabilitas dalam properti komponen struktur aktual dalam analisis, properti komponen struktur yang digunakan dalam analisis harus dikalikan dengan faktor reduksi kekakuan ϕ_K kurang dari 1,0. Properti penampang yang didefinisikan dalam 6.7.2 sudah menyertakan faktor reduksi kekakuan ini. Faktor reduksi kekakuan ϕ_K dapat diambil sebesar 0,875. Catatan bahwa kekakuan keseluruhan direduksi lebih lanjut mempertimbangkan bahwa modulus elastisitas beton E_c adalah didasarkan kekuatan tekan beton yang disyaratkan, sedangkan defleksi goyangan adalah fungsi rata-rata kekuatan beton, yang umumnya lebih tinggi.
6.7.1.2 Pengaruh kelangsingan seluruh panjang kolom harus diperhitungkan, diizinkan untuk menghitung pengaruh ini dengan menggunakan 6.6.4.5.	**R6.7.1.2** Maksimum momen di komponen struktur tekan mungkin terjadi di antara ujung-ujungnya. Dalam analisis program komputer, kolom mungkin dipecah-pecah menggunakan nodal-nodal di sepanjang bentangnya untuk menghitung pengaruh kelangsingan diatara ujung-ujungnya. Jika kolom tidak dipecah-pecah sepanjang bentangnya, pengaruh kelangsingan dapat dievaluasi menggunakan pembesaran momen rangka tak bergoyang yang dijelaskan dalam 6.6.4.5 dengan momen ujung komponen struktur dari analisis elastis orde kedua sebagai masukan. Analisis orde kedua telah memperhitungkan perpindahan relatif ujung komponen struktur.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
6.7.1.3 Dimensi penampang setiap komponen struktur yang digunakan dalam analisis untuk menghitung pengaruh kelangsingan harus berada dalam 10 persen dimensi komponen struktur yang ditunjukkan pada dokumen perencanaan atau analisisnya harus diulang.	
6.7.1.4 Redistribusi momen dihitung dengan analisis elastis orde kedua diizinkan sesuai 6.6.5.	
6.7.2 *Properti penampang*	**R6.7.2** *Properti penampang*
6.7.2.1 *Analisis beban terfaktor*	
6.7.2.1.1 Diizinkan menggunakan propertis penampang yang dihitung sesuai 6.6.3.1.	
6.7.2.2 *Analisis beban layan*	**R6.7.2.2** *Analisis beban layan*
6.7.2.2.1 Defleksi seketika dan jangka panjang akibat beban gravitasi harus dihitung sesuai 24.2.	
6.7.2.2.2 Sebagai alternatif, diizinkan untuk menghitung defleksi seketika menggunakan momen inersia 1,4 kali I yang didefinisikan di 6.6.3.1, atau dihitung menggunakan analisis yang lebih detail, tetapi tidak boleh melebihi I_g.	**R6.7.2.2.2** *Analisis beban layan* – mengacu pada R6.6.3.2.2.
6.8 - Analisis inelastis orde kedua	**R6.8 - Analisis inelastis orde kedua**
6.8.1 *Umum*	**R6.8.1** *Umum*
6.8.1.1 Analisis inelastis orde kedua harus memperhitungkan pengaruh ke-nonlinearan material, kurvatur komponen struktur dan simpangan lateral, jangka waktu pembebanan, susut dan rangkak, dan interaksi dengan tumpuan fondasi.	
6.8.1.2 Prosedur analisis inelastis orde kedua harus ditunjukkan dalam hasil prediksi kekuatan yang sangat sesuai dengan hasil uji tekan kolom pada struktur beton bertulang statis tak tentu.	**R6.8.1.2** Prosedur analisis inelastis orde kedua harus memprediksi beban ultimit hingga 15 persen yang dilaporkan dalam pengujian untuk struktur beton bertulang statis tak-tentu. Asumsi-asumsi dan prosedur analisis harus dievaluasi dengan membandingkan hasil uji yang dilaporkan terhadap hasil prediksi dari analisis. Untuk menyertakan variabilitas properti aktual komponen struktur dalam analisis, properti material dan komponen struktur yang digunakan dalam analisis harus didasarkan pada batas bawah

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	(*lowerbound*) kekakuan untuk komponen struktur beton, konsisten dengan faktor reduksi kekakuan ϕ_K sebesar 0,8 yang dibahas dalam R.6.7.1.1.
6.8.1.3 Pengaruh kelangsingan seluruh panjang kolom harus diperhitungkan, diizinkan untuk menghitung pengaruh ini dengan menggunakan 6.6.4.5.	**R6.8.1.3** Mengacu pada R6.7.1.2.
6.8.1.4 Dimensi penampang setiap komponen struktur yang digunakan dalam analisis untuk menghitung pengaruh kelangsingan harus berada dalam 10 persen dimensi komponen struktur yang ditunjukkan pada dokumen perencanaan atau analisisnya harus diulang.	
6.8.1.5 Redistribusi momen yang dihitung dengan analisis inelastis orde kedua tidak diiizinkan.	
6.9 - Penerimaan analisis elemen hingga	**R6.9 - Penerimaan analisis elemen hingga**
6.9.1 Analisis elemen hingga untuk menentukan pengaruh beban diizinkan untuk digunakan.	**R6.9.1** Pasal ini diperkenalkan dalam standar ini yang secara eksplisit mengakui penggunaan yang luas metode analisis elemen hingga.
6.9.2 Model elemen hingga yang digunakan harus sesuai dengan tujuan yang diharapkan.	**R6.9.2** Perencana ahli bersertifikat harus menjamin bahwa model analisis yang sesuai digunakan untuk masalah tertentu yang ditinjau. Hal ini termasuk pemilihan *software* program komputer, tipe elemen, model mesh, dan asumsi model lainnya. Sangat banyak jenis *software* program komputer untuk analisis elemen hingga yang tersedia, termasuk yang dapat melakukan analisis statis, dinamis, elastis dan inelastis. Tipe elemen yang digunakan harus mampu menentukan respons yang diharapkan. Model elemen hingga dapat berupa elemen balok-kolom yang memodelkan rangka struktural komponen struktur seperti balok dan kolom, bersama dengan elemen *plane-stress*, elemen pelat dan elemen *shell*, elemen bata (*bricks*), atau keduanya, yang digunakan untuk memodelkan pelat lantai, pondasi rakit, diafragma, dinding dan sambungan. Ukuran model *mesh* dipilih harus yang mampu menentukan respons struktur dengan detail yang memadai.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Penggunaan serangkaian asumsi-asumsi yang masuk akal untuk kekakuan komponen struktur diizinkan.
6.9.3 Untuk analisis inelastis, analisis terpisah harus dilakukan untuk setiap kombinasi beban terfaktor.	**R6.9.3** Untuk analisis inelastis elemen hingga, aturan superposisi linear tidak berlaku. Untuk menentukan inelastis respons ultimit komponen struktur, sebagai contoh, tidak benar untuk menganalisis beban layan dan selanjutnya mengkombinasikan hasilnya secara linear menggunakan faktor beban. Analisis inelastis terpisah harus dilakukan untuk setiap kombinasi faktor beban.
6.9.4 Perencana ahli bersertifikat harus meyakinkan bahwa hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan dari analisis.	
6.9.5 Dimensi penampang setiap komponen struktur yang digunakan dalam analisis harus berada dalam 10 persen dimensi komponen struktur yang ditunjukkan pada dokumen perencanaan atau analisisnya harus diulang.	
6.9.6 Redistribusi momen yang dihitung dengan analisis inelastis tidak diiizinkan.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 7 - PELAT SATU ARAH

7.1 - Ruang lingkup

7.1.1 Ketentuan pada pasal ini berlaku untuk perencanaan pelat nonprategang dan prategang dengan penulangan untuk lentur satu arah, termasuk:

a) Pelat solid
b) Pelat yang dicor di atas dek baja nonkomposit
c) Pelat beton komposit yang dibangun dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sehingga semua komponen memikul beban sebagai satu kesatuan.
d) Pracetak, pelat prategang berongga

R7.1 - Ruang lingkup

R7.1.1 Desain dan konstruksi pelat komposit pada *steel deck* dijelaskan dalam "*Standard for Composite Steel Floor Deck - Slabs*" (SDI C).

Ketentuan untuk sistem pelat berusuk (*joist*) satu arah dapat dilihat pada Pasal 9.

7.2 - Umum

7.2.1 Pengaruh beban terpusat dan bukaan harus dipertimbangkan dalam desain.

R7.2 - Umum

R7.2.1 Pengaruh bukaan pelat pada kekuatan lentur dan geser harus ikut dipertimbangkan, termasuk mengevaluasi potensi penampang kritis akibat bukaan.

Beban terpusat dan bukaan pelat dapat menyebabkan area pada pelat satu arah memiliki perilaku dua arah.

7.2.2 *Material*

7.2.2.1 Properti desain beton harus dipilih sesuai Pasal 19.

7.2.2.2 Properti desain tulangan baja harus dipilih sesuai Pasal 20.

7.2.2.3 Persyaratan material, desain, dan pendetailan untuk penanaman dalam beton harus sesuai 20.7.

7.2.3 *Sambungan ke komponen lainnya*

7.2.3.1 Untuk konstruksi cor di tempat, sambungan balok-kolom dan pelat-kolom harus memenuhi Pasal 15.

7.2.3.2 Untuk konstruksi pracetak, sambungan harus memenuhi penyaluran gaya yang dipersyaratkan pada 16.2.

7.3 - Batasan desain

7.3.1 *Ketebalan minimum pelat*

R7.3 - Batasan desain

R7.3.1 *Ketebalan minimum pelat* – Ketentuan ketebalan minimum pelat satu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

7.3.1.1 Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat ***h*** tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 7.3.1.1, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan 7.3.2 terpenuhi.

Tabel 7.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	h[1] Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

[1]Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan f_y = 420 MPa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3.

7.3.1.1.1 Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 7.3.1.1 harus dikalikan dengan $(0{,}4 + f_y / 700)$

7.3.1.1.2 Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m^3, persamaan pada Tabel 7.3.1.1 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari a) dan b):

a) $1{,}65 - 0{,}0003 w_c$
b) **1,09**

7.3.1.1.3 Untuk pelat komposit nonprategang yang terbuat dari kombinasi beton ringan dan normal, ditopang saat konstruksi, dan ketika beton ringan berada dalam keadaan tertekan, koefisien modifikasi pada 7.3.1.1.2 harus digunakan.

7.3.1.2 Ketebalan penutup lantai (*floor finish*) beton diizinkan untuk dimasukkan ke dalam nilai ***h*** jika pengecoran dilakukan secara monolit dengan pelat lantai atau jika penutup lantai dirancang komposit dengan pelat lantai sesuai 16.4.

PENJELASAN

arah sama seperti balok. Lihat R9.3.1 untuk informasi tambahan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
7.3.2 *Perhitungan batasan lendutan*	**R7.3.2** *Perhitungan batasan lendutan* – Dasar perhitungan lendutan untuk pelat satu arah sama seperti pada balok. Lihat R9.3.2 untuk informasi tambahan.
7.3.2.1 Untuk pelat non-prategang yang tidak memenuhi 7.3.1 dan untuk pelat prategang, lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai 24.2 dan tidak boleh melebihi batas pada 24.2.2.	
7.3.2.2 Untuk pelat beton komposit nonprategang yang memenuhi 7.3.1, lendutan yang terjadi setelah komponen struktur menjadi komposit, tidak perlu dihitung. Lendutan yang terjadi sebelum komponen struktur menjadi komposit harus diperiksa, kecuali ketebalan sebelum komposit juga memenuhi 7.3.1.	
7.3.3 *Batas regangan tulangan pada pelat nonprategang*	
7.3.3.1 Untuk pelat nonprategang, ε_t sekurang-kurangnya 0,004	
7.3.4 *Batas tegangan pada pelat prategang*	
7.3.4.1 Pelat prategang harus diklasifikasikan sebagai Kelas U, T, atau C sesuai 24.5.2.	
7.3.4.2 Tegangan sesaat setelah transfer dan saat beban layan pada pelat prategang tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan pada 24.5.3 dan 24.5.4.	
7.4 - Kekuatan perlu	**R7.4 - Kekuatan perlu**
7.4.1 *Umum*	
7.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban yang diperhitungkan pada Pasal 5.	
7.4.1.2 Kekuatan perlu harus sesuai dengan prosedur analisis pada Pasal 6.	
7.4.1.3 Untuk pelat prategang, pengaruh reaksi perletakan yang ditimbulkan akibat prategang harus dipertimbangkan sesuai 5.3.11.	
7.4.2 *Momen terfaktor*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
7.4.2.1 Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, M_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.	
7.4.3 *Geser terfaktor*	**R7.4.3** *Geser terfaktor*
7.4.3.1 Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, V_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.	
7.4.3.2 Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh d dari permukaan tumpuan untuk pelat nonprategang atau $h/2$ dari muka tumpuan untuk pelat prategang harus dirancang untuk memenuhi V_u pada penampang kritis jika a) hingga c) terpenuhi: a) Reaksi perletakan, dalam arah geser yang terjadi, menimbulkan tekan ke daerah ujung pelat b) Beban diberikan pada atau dekat permukaan atas pelat c) Tidak ada beban terpusat antara muka tumpuan dan penampang kritis	**R7.4.3.2** Persyaratan untuk penampang geser kritis dalam pelat satu arah sama seperti pada balok. Lihat R9.4.3.2 untuk informasi tambahan.
7.5 - Kekuatan desain	**R7.5 - Kekuatan desain**
7.5.1 *Umum*	**R7.5.1** *Umum*
7.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk a) dan b). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan. a) $\phi M_n \geq M_u$ b) $\phi V_n \geq V_u$	**R7.5.1.1** Lihat R9.5.1.1.
7.5.1.2 ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	
7.5.2 *Momen*	**R7.5.2** *Momen*
7.5.2.1 M_n harus dihitung sesuai 22.3.	
7.5.2.2 Untuk pelat prategang, tendon eksternal harus diperhitungkan sebagai tendon tanpa lekatan dalam menghitung kekuatan lentur, kecuali tendon eksternal terlekat secara efektif pada penampang beton di sepanjang bentang.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

7.5.2.3 Jika tulangan lentur utama pada pelat dianggap sebagai bagian dari sayap balok-T yang sejajar dengan sumbu memanjang balok, tulangan yang tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok harus disediakan di bagian atas pelat sesuai a) dan b). Ketentuan ini tidak berlaku untuk konstruksi pelat berusuk.

a) Tulangan pelat yang tegak lurus terhadap balok harus dirancang untuk menahan beban terfaktor yang bekerja pada sayap balok-T yang diasumsikan bekerja sebagai kantilever.
b) Hanya lebar efektif sayap balok-T yang sesuai 6.3.2 yang perlu dipertimbangkan.

R7.5.2.3 Ketentuan ini hanya berlaku bila balok-T sejajar dengan bentang pelat satu arah. Misalnya, balok ini mungkin digunakan untuk menopang dinding atau beban terpusat yang dengan pelat saja tidak mampu menopangnya. Dalam hal ini, tulangan utama pelat dipasang sejajar dengan balok dan tulangan tegak lurus biasanya dipasang untuk pengaruh suhu dan susut. Persyaratan penulangan yang dibutuhkan oleh ketentuan ini dimaksudkan untuk mempertimbangkan momen negatif yang "tidak diperkirakan" yang dapat melampaui batasan akibat pengaruh suhu dan susut.

7.5.3 *Geser*

7.5.3.1 V_n harus dihitung sesuai 22.5.

7.5.3.2 Untuk pelat beton komposit, kekuatan geser horizontal V_{nh} harus dihitung sesuai 16.4.

7.6 - Batasan tulangan

7.6.1 *Tulangan lentur minimum pelat nonprategang*

7.6.1.1 Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$, harus disediakan sesuai Tabel 7.6.1.1.

Tabel 7.6.1.1 – $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang

Tipe tulangan	f_y, MPa	$A_{s,min}$	
Batang ulir	< 420	$0{,}0020A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0{,}0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0{,}0014A_g$

R7.6 - Batasan tulangan

R7.6.1 *Tulangan lentur minimum* pelat *nonprategang*

R7.6.1.1 Luas yang diperlukan untuk tulangan ulir atau kawat las sebagai tulangan lentur minimum sama seperti yang disediakan untuk tulangan susut dan suhu di 24.4.3.2. Namun, tulangan susut dan suhu diizinkan untuk didistribusikan di antara kedua muka pelat yang dianggap sesuai untuk kondisi spesifik, tulangan lentur minimum harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan tarik beton akibat beban.

7.6.2 *Tulangan lentur minimum pelat prategang*

R7.6.2 *Tulangan lentur minimum pelat prategang* – Persyaratan untuk tulangan lentur minimum untuk pelat prategang satu arah sama dengan balok prategang. Lihat R9.6.2 untuk informasi tambahan.

7.6.2.1 Untuk pelat dengan tulangan prategang terlekat, jumlah total A_s dan A_{ps}

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

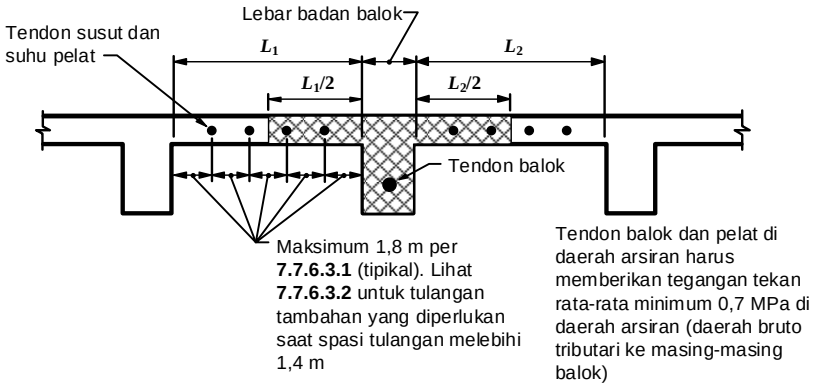
STANDAR	PENJELASAN
harus cukup untuk mengembangkan beban terfaktor sekurang-kurangnya 1,2 kali beban retak dihitung berdasarkan f_r seperti yang diberikan pada 19.2.3.	
7.6.2.2 Untuk pelat dengan kekuatan desain lentur dan geser sekurang-kurangnya dua kali kekuatan perlu, pasal 7.6.2.1 tidak perlu terpenuhi.	
7.6.2.3 Untuk pelat dengan tendon tanpa lekatan, luas tulangan ulir longitudinal minimum, $A_{s,min}$, harus: $A_{s,min} \geq 0{,}004\, A_{ct}$ (7.6.2.3) dimana A_{ct} adalah luas penampang yang berada pada sisi tarik hingga titik berat penampang bruto.	
7.6.3 *Tulangan geser minimum*	**R7.6.3** *Tulangan geser minimum* – Dasar untuk penulangan geser minimum pada pelat satu arah sama seperti pada balok. Lihat R9.6.3 untuk informasi tambahan.
7.6.3.1 Luas minimum tulangan geser, $A_{v,min}$, harus disediakan pada semua penampang dimana $V_u > \phi V_c$. Untuk pelat pracetak berongga tanpa beton penutup $h > 315$ mm, $A_{v,min}$ harus disediakan di semua penampang dimana $V_u > 0{,}5\phi V_{cw}$.	**R7.6.3.1** Pelat solid dan fondasi telapak memiliki syarat tulangan geser minimum yang lebih longgar dibandingkan balok karena ada kemungkinan beban terbagi antara penampang yang lemah dan kuat. Namun, penelitian (Angelakos et al. 2001; Lubell et al. 2004; Brown et al. 2006) menunjukkan bahwa pelat tebal, pelat satu arah bertulangan sedikit, terutama jika dibuat dari beton mutu tinggi atau beton dengan agregat kasar berukuran kecil, kemungkinan gagal akibat geser kurang dari V_c yang dihitung dengan Pers. (22.5.5.1). Pelat satu arah yang memikul beban terpusat cenderung lebih menunjukkan kerawanan jenis ini. Hasil uji pada unit pracetak, prategang berongga (Becker dan Buettner 1985; Anderson 1978) dengan $h \leq 315$ mm menunjukkan kekuatan geser lebih besar dari yang dihitung dengan Pers. (22.5.8.3.1a) dan Pers. (22.5.8.3.2). Hasil pengujian pada pelat berongga dengan $h > 315$ mm menunjukkan bahwa kekuatan geser badan di daerah ujung bisa kurang dari kekuatan yang dihitung dengan Pers. (22.5.8.3.2). Sebaliknya, kekuatan lentur-geser pada pelat berongga yang lebih tebal

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	nilainya menyamai atau melebihi kekuatan yang dihitung dengan Pers. (22.5.8.3.1a).
7.6.3.2 Jika ditunjukkan dalam pengujian bahwa M_n dan V_n yang dibutuhkan dapat terpenuhi, 7.6.3.1 tidak perlu dipenuhi. Pengujian harus mensimulasikan efek dari beda penurunan, rangkak, susut, dan perubahan suhu, berdasarkan perkiraan realistis terhadap pengaruh yang terjadi dalam masa layan.	**R7.6.3.2** Dasar evaluasi kekuatan berdasarkan pengujian untuk pelat satu arah sama seperti balok. Lihat ke R9.6.3.2 untuk informasi tambahan.
7.6.3.3 Jika diperlukan tulangan geser, $A_{v,min}$ harus sesuai 9.6.3.3.	
7.6.4 *Tulangan susut dan suhu minimum*	**R7.6.4** *Tulangan susut dan suhu minimum*
7.6.4.1 Tulangan harus disediakan untuk menahan tegangan susut dan suhu sesuai 24.4.	
7.6.4.2 Jika digunakan tulangan susut dan suhu prategang sesuai 24.4.4, maka berlaku 7.6.4.2.1 hingga 7.6.4.2.3.	**R7.6.4.2** Dalam konstruksi balok-pelat monolit prategang, setidaknya ada satu tendon susut dan suhu diperlukan di antara balok, walaupun tendon balok saja memberikan tegangan tekan rata-rata sekurang-kurangnya 0,7 MPa seperti yang dipersyaratkan oleh 24.4.4.1 pada penampang bruto beton sebagaimana didefinisikan dalam 7.6.4.2.1. Tendon berbagai ukuran diizinkan digunakan selama semua persyaratan dalam 7.6.4.2 dan 7.7.6.3 terpenuhi. Penerapan dari ketentuan 7.6.4.2 dan 7.7.6.3 untuk konstruksi monolit, cor di tempat, pascatarik, balok-pelat seperti diilustrasikan pada Gambar R7.6.4.2. Tendon untuk tulangan susut dan suhu harus diletakkan sedekat mungkin dengan setengah tinggi pelat. Kondisi dimana tendon susut dan suhu digunakan untuk menumpu tendon utama, variasi jarak dari sumbu pusat pelat diperbolehkan; namun, resultan tendon susut dan suhu tidak boleh melebihi sepertiga tebal pelat. Pengaruh pemendekan pelat harus dievaluasi untuk memastikan efektifitas sistem prategang. Dalam banyak kasus, gaya prategang rendah yang direkomendasikan tidak boleh menyulitkan pendetailan struktur. Perhatian lebih mungkin diperlukan bila pengaruh suhu signifikan.
7.6.4.2.1 Untuk konstruksi balok-pelat monolit, cor di tempat, pascatarik, luas penampang bruto beton terdiri dari luas total balok termasuk ketebalan pelat dan luas pelat yang dihitung setengah dari jarak bersih antara badan balok yang bersebelahan. Diizinkan untuk memasukkan gaya efektif tendon dalam balok pada perhitungan total gaya prategang yang bekerja pada luas penampang bruto beton.	
7.6.4.2.2 Jika pelat menumpu di dinding atau tidak dicor secara monolit dengan balok, luas penampang bruto beton adalah bagian penampang pelat pada tributari tendon atau kelompok tendon.	
7.6.4.2.3 Setidaknya satu tendon diperlukan pada pelat antara muka balok atau dinding yang berdekatan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN



Gambar R7.6.4.2 – Potongan penampang balok yang dicor monolit dengan pelat

7.7 - Detail penulangan

R7.7 - Detail penulangan

7.7.1 *Umum*

7.7.1.1 Selimut beton untuk penulangan harus sesuai 20.6.1.

7.7.1.2 Panjang penyaluran tulangan ulir dan tulangan prategang harus sesuai 25.4.

7.7.1.3 Sambungan lewatan tulangan ulir harus memenuhi sesuai 25.5.

7.7.1.4 Tulangan bundel harus sesuai 25.6.

7.7.2 *Spasi tulangan*

R7.7.2 *Spasi tulangan*

7.7.2.1 Spasi minimum s harus sesuai 25.2.

7.7.2.2 Untuk pelat nonprategang dan prategang kelas C, spasi tulangan longitudinal terlekat yang paling dekat dengan sisi tarik tidak boleh melebihi s yang diberikan dalam 24.3.

7.7.2.3 Spasi maksimum s untuk tulangan ulir harus kurang dari $3h$ dan 450 mm.

7.7.2.4 Spasi tulangan yang disyaratkan oleh 7.5.2.3 tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $5h$ dan 450 mm.

R7.7.2.4 Batasan spasi untuk tulangan pelat didasarkan pada ketebalan sayap, bila tebal untuk sayap tirus (*tapered*) dapat diambil ketebalan rata-rata.

7.7.3 *Tulangan lentur pelat nonprategang*

R7.7.3 *Tulangan lentur pelat nonprategang* – Persyaratan penyaluran tulangan pada pelat satu arah sama dengan balok. Lihat R9.7.3 untuk informasi tambahan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

7.7.3.1 Gaya tarik atau tekan terhitung pada tulangan di setiap penampang pelat harus disediakan pada tiap sisi dari penampang.

7.7.3.2 Lokasi kritis penyaluran tulangan adalah titik-titik tegangan maksimum dan titik-titik di sepanjang bentang ketika tulangan tarik yang dibengkokan atau diputus tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur.

7.7.3.3 Tulangan harus diteruskan melewati titik dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur dengan jarak setidaknya yang terbesar dari d dan $12d_b$, kecuali pada tumpuan sederhana dan kantilever.

7.7.3.4 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran paling sedikit ℓ_d melewati titik dimana tulangan tarik yang dibengkokan atau diputus tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur.

7.7.3.5 Tulangan tarik lentur tidak boleh diputus di daerah tarik kecuali a), b), atau c) terpenuhi:

a) $V_u \leq (2/3)\,\phi V_n$ pada titik putus (*cutoff*).
b) Untuk tulangan D36 atau yang lebih kecil, luas tulangan yang diteruskan dua kali lipat dari luas yang dibutuhkan untuk lentur pada titik putus dan $V_u \leq (3/4)\,\phi V_n$.
c) Luas sengkang berlebih yang diperlukan untuk geser disediakan di sepanjang pemutusan tulangan atau kawat sejarak $3/4d$ dari titik pemutusan tulangan. Luas sengkang berlebih harus tidak boleh kurang dari $0{,}41 b_w s/f_{yt}$. Spasi s tidak boleh melebihi $d/(8\beta_b)$.

7.7.3.6 Pengangkuran yang cukup harus disediakan untuk tulangan tarik dimana tegangan tulangan tidak proporsional dengan momen, seperti pada pelat miring, pelat berundak, pelat tirus, atau dimana tulangan tarik tidak sejajar dengan permukaan tekan.

7.7.3.7 Pada pelat dengan bentang tidak lebih dari 3 m, kawat las dengan ukuran tidak melebihi ∅16 atau D16, diizinkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

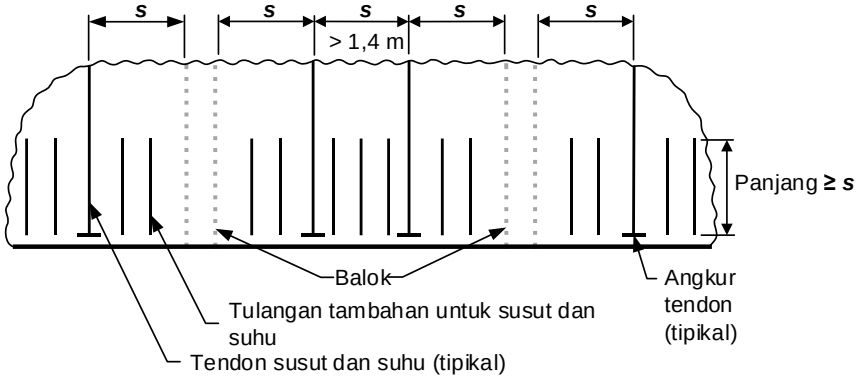
STANDAR	PENJELASAN
untuk dibengkokkan dari titik di dekat sisi atas pelat pada tumpuan ke titik di dekat sisi bawah pelat pada bagian tengah bentang, tulangan yang disediakan harus diteruskan atau disalurkan sampai tumpuan.	
7.7.3.8 *Pemutusan tulangan*	**R7.7.3.8** *Pemutusan tulangan* – Persyaratan untuk pemutusan tulangan pada pelat satu arah sama dengan balok. Lihat R9.7.3.8 untuk informasi tambahan.
7.7.3.8.1 Pada tumpuan sederhana, setidaknya sepertiga dari tulangan momen positif maksimum harus diteruskan sepanjang bawah pelat sampai ke tumpuan, kecuali untuk pelat pracetak dimana tulangan tersebut harus diteruskan sekurang-kurangnya sampai pusat panjang landasan.	
7.7.3.8.2 Pada tumpuan lain, sedikitnya seperempat dari tulangan momen positif maksimum harus diteruskan sepanjang bawah pelat ke tumpuan sekurang-kurangnya 150 mm.	
7.7.3.8.3 Pada tumpuan sederhana dan titik balik, d_b untuk tulangan tarik momen positif harus dibatasi sedemikian rupa sehingga ℓ_d dapat memenuhi a) atau b). Jika tulangan terputus melewati garis tengah tumpuan dengan ujung kait standar atau pengangkuran mekanis yang setidaknya setara dengan kait standar, a) atau b) tidak perlu dipenuhi.	
a) $\ell_d \leq (1{,}3M_n / V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan b) $\ell_d \leq (M_n / V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan tidak dikekang oleh reaksi tekan.	
M_n dihitung dengan asumsi semua tegangan tulangan pada penampang mencapai f_y dan V_u dihitung pada penampang tersebut. Pada tumpuan, ℓ_a adalah panjang penyaluran yang melewati pusat tumpuan. Pada titik balik, ℓ_a adalah panjang penyaluran yang melewati titik balik, dibatasi dengan nilai terbesar dari d atau $12d_b$.	
7.7.3.8.4 Setidaknya sepertiga dari tulangan momen negatif pada tumpuan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
harus memiliki panjang penyaluran melewati titik balik sekurang-kurangnya terbesar dari d, $12d_b$, dan $\ell_n/16$.	
7.7.4 *Tulangan lentur pelat prategang*	**R7.7.4** *Tulangan lentur pelat prategang*
7.7.4.1 Tendon eksternal harus dilekatkan pada komponen struktur sehingga mampu mempertahankan eksentrisitas yang ditetapkan antara tendon dan titik berat beton pada semua rentang lendutan komponen struktur yang diantisipasi.	
7.7.4.2 Jika tulangan nonprategang diperlukan untuk kekuatan lentur, persyaratan pendetailan 7.7.3 harus dipenuhi.	
7.7.4.3 *Pemutusan tulangan prategang*	
7.7.4.3.1 Daerah pengakuran pascatarik harus didesain dan didetailkan sesuai 25.9.	
7.7.4.3.2 Angkur pascatarik dan kopler (*coupler*) harus didesain dan didetailkan sesuai 25.8.	
7.7.4.4 *Pemutusan tulangan ulir pelat dengan tendon tanpa lekatan*	**R7.7.4.4** *Pemutusan tulangan ulir pelat dengan tendon tanpa lekatan* – Persyaratan untuk pemutusan tulangan ulir pada pelat satu arah dengan tendon tanpa lekatan sama dengan balok. Lihat R9.7.4.4 untuk informasi tambahan
7.7.4.4.1 Panjang tulangan ulir yang diperlukan 7.6.2.3 harus sesuai a) dan b): a) Sekurang-kurangnya $\ell_n/3$ di area momen positif dan dipusatkan di daerah tersebut b) Sekurang-kurangnya $\ell_n/6$ di setiap sisi muka tumpuan	
7.7.5 *Tulangan geser*	
7.7.5.1 Jika tulangan geser diperlukan, tulangan transversal harus didetailkan sesuai 9.7.6.2.	
7.7.6 *Tulangan susut dan suhu*	**R7.7.6** *Tulangan susut dan suhu*
7.7.6.1 Tulangan susut dan suhu sesuai 7.6.4 harus ditempatkan tegak lurus terhadap tulangan lentur.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
7.7.6.2 *Tulangan nonprategang*	
7.7.6.2.1 Spasi antar tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi yang terkecil dari 5***h*** dan 450 mm.	
7.7.6.3 *Tulangan prategang*	**R7.7.6.3** *Tulangan prategang*
7.7.6.3.1 Spasi tendon pelat yang disyaratkan 7.6.4.2 dan jarak antara muka balok atau dinding ke tendon pelat terdekat tidak boleh melebihi 1,8 meter.	
7.7.6.3.2 Jika spasi tendon pelat melebihi 1,4 m, tulangan susut dan suhu tambahan sesuai 24.4.3 harus diletakkan sejajar dengan tendon, kecuali 24.4.3.4 tidak perlu dipenuhi. Dalam menghitung luas tulangan tambahan, diperkenankan menggunakan luas penampang bruto beton sesuai Tabel 24.4.3.2 sebagai luas pelat di antara muka balok. Tulangan susut dan suhu harus diteruskan dari tepi pelat dengan jarak tidak kurang dari spasi tendon pelat.	**R7.7.6.3.2** Tendon dengan spasi lebar menghasilkan tegangan tekan tidak seragam di dekat tepi pelat. Tulangan tambahan berfungsi untuk memperkuat daerah-daerah di dekat tepi pelat yang mungkin tegangan tekannya yang tidak memadai. Penempatan tulangan tersebut diilustrasikan pada Gambar R7.7.6.3.2.



Gambar R7.7.6.3.2 – Tampak atas pelat tepi menunjukkan tulangan tambahan untuk susut dan suhu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 8 – PELAT DUA ARAH

8.1 - Ruang lingkup

8.1.1 Ketentuan pasal ini berlaku untuk desain sistem pelat prategang dan nonprategang yang ditulangi untuk lentur dua arah, dengan atau tanpa balok di antara tumpuannya, termasuk a) hingga d):

a) Pelat solid
b) Pelat yang dicor di tempat, lantai baja nonkomposit
c) Pelat beton komposit yang dicor secara terpisah yang selanjutnya disambung sedemikian hingga semua elemen memikul beban sebagai satu kesatuan
d) Sistem pelat berusuk dua arah sesuai 8.8

R8.1 - Ruang lingkup

Metode desain dalam pasal ini berdasarkan pada analisis hasil pengujian yang panjang (Burns dan Hemakom 1977; Gamble et al. 1969; Gerber dan Burns 1971; Guralnick dan LaFraugh 1963; Hatcher et al. 1965, 1969; Hawkins 1981; Jirsa et al. 1966; PTI DC10.5; Smith dan Burns 1974; Scordelis et al. 1959; Vanderbilt et al. 1969; Xanthakis dan Sozen 1963) dari berbagai berbagai catatan yang diakui tentang sistem pelat. Prinsip dasar desain berlaku untuk semua sistem struktur bidang yang mengalami beban transversal. Beberapa aturan desain yang spesifik yang membatasi jenis struktur yang diterapkan pasal ini. Sistem pelat umum yang didesain sesuai pasal ini termasuk slab datar (*flat slabs*), pelat datar (*flat plates*), pelat dua arah, dan slab wafel (*waffle slabs*). Pelat berpanel dua arah, balok lebar (*wide-band)*, sistem balok.

Pasal ini tidak membahas pelat di atas tanah yang tidak menyalurkan beban vertikal dari bagian lain struktur ke tanah.

Untuk pelat dengan balok, prosedur desain pada pasal ini hanya berlaku ketika balok terletak di tepi panel dan ketika balok ditumpu oleh kolom atau tumpuan lain yang tidak mengalami lendutan pada tepi panel. Pelat dua arah dengan balok dalam satu arah, dengan kedua pelat dan balok yang ditumpu oleh balok gelagar (*girder*) pada arah lainnya, dapat didesain menurut persyaratan umum pasal ini. Desain semacam itu harus berbasis pada analisis yang kompatibel dengan posisi lendutan balok tumpuan dan balok gelagar.

Untuk pelat yang ditumpu oleh dinding, prosedur perancangan dalam pasal ini yaitu mengasumsikan dinding tersebut sebagai elemen balok yang mempunyai kekakuan tak terhingga; Oleh karena itu, setiap dinding harus dapat menumpu panjang keseluruhan dari tepi panel (lihat 8.4.1.7). Dinding dengan lebar kurang dari panjang keseluruhan dapat diasumsikan sebagai elemen kolom.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
8.2 - Umum	**R8.2 - Umum**
8.2.1 Sistem pelat diizinkan untuk didesain dengan prosedur yang memenuhi kondisi kesetimbangan dan kompatibilitas geometrik, yang memenuhi kekuatan desain di setiap penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu, dan semua persyaratan kemampuan layan terpenuhi. Metode desain langsung pada 8.10 atau metode rangka ekuivalen pada 8.11 diizinkan untuk desain apabila sesuai.	**R8.2.1** Bagian ini mengizinkan desain yang didasarkan pada prinsip dasar mekanika struktur, yang dapat menunjukkan secara jelas bahwa semua kriteria kekuatan dan kemampuan layan dipenuhi. Desain pelat didapatkan melalui kombinasi penggunaan solusi klasik berdasarkan prinsip kontinum elastis linier, metode numerik yang berdasarkan pada elemen diskrit, atau analisis garis leleh, termasuk, dalam semua kasus, evaluasi kondisi tegangan di sekitar tumpuan yang berhubungan dengan torsi, geser, serta lentur. Desain sistem pelat melibatkan lebih dari sekedar analisis; setiap penyimpangan dalam dimensi fisik pelat dari praktek umum harus dibuktikan dengan pengetahuan tentang beban yang akan terjadi dan keandalan dari perhitungan tegangan dan deformasi struktur tersebut. Untuk analisis beban gravitasi sistem pelat dua arah, dua metode analisis diberikan pada 8.10 dan 8.11. Ketentuan khusus dari kedua metode desain tersebut, dibatasi pada aplikasi rangka ortogonal yang hanya dikenai beban gravitasi. Kedua metode ini berlaku untuk pelat dua arah dengan balok serta slab datar (*flat slabs* dan pelat datar (*flat plates)*. Pada kedua metode, distribusi momen ke bagian kritis pelat mencerminkan pengaruh pengurangan kekakuan elemen akibat retak dan geometri tumpuan.
8.2.2 Pengaruh beban terpusat dan bukaan harus diperhitungkan dalam desain.	
8.2.3 Pelat prategang dengan tegangan tekan efektif rata-rata kurang dari 0,9 MPa harus didesain sebagai pelat nonprategang.	
8.2.4 Sebuah *drop panel* pada pelat nonprategang yang digunakan untuk mengurangi ketebalan perlu minimum sesuai 8.3.1.1 atau jumlah tulangan ulir momen negatif pada tumpuan yang sesuai 8.5.2.2, harus memenuhi a) dan b): a) *Drop panel* harus menjorok di bawah pelat paling sedikit seperempat tebal pelat bersebelahan. b) *Drop panel* harus diteruskan di setiap arah dari garis pusat tumpuan dengan	**R8.2.4 dan R8.2.5** Dimensi *drop panel* yang ditentukan dalam 8.2.4 diperlukan untuk mengurangi jumlah tulangan momen negatif menurut 8.5.2.2 atau untuk memenuhi ketebalan pelat minimum yang diizinkan pada 8.3.1.1. Jika dimensi kurang dari yang ditentukan dalam 8.2.4, proyeksi dapat digunakan sebagai tambahan kepala kolom (*shear cap*) untuk meningkatkan kekuatan geser pelat. Untuk pelat dengan perubahan ketebalan, penting untuk dilakukan pengecekan terhadap kekuatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
jarak tidak kurang dari seperenam panjang bentang yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam arah tersebut.	geser pada beberapa bagian (lihat 22.6.4.1 (b)).
8.2.5 Sebuah kepala kolom, yang digunakan untuk memperbesar penampang kritis geser pada *joint* pelat-kolom, harus menjorok di bawah pelat dan diteruskan secara horizontal dari muka kolom sejarak sekurang-kurangnya sama dengan ketebalan kepala kolom.	
8.2.6 *Material*	
8.2.6.1 Properti desain beton harus dipilih sesuai Pasal 19.	
8.2.6.2 Properti desain tulangan baja harus dipilih sesuai Pasal 20.	
8.2.6.3 Persyaratan material, desain, dan pendetailan untuk penanaman dalam beton harus sesuai 20.7.	
8.2.7 *Sambungan ke komponen struktur lain*	**R8.2.7** *Sambungan ke komponen struktur lain* – Keamanan sistem pelat memerlukan pertimbangan mengenai penyaluran beban dari pelat ke kolom yang diakibatkan oleh lentur, torsi, dan geser.
8.2.7.1 *Joint* balok-kolom dan pelat-kolom harus memenuhi Pasal 15.	
8.3 - Batasan desain	**R8.3 - Batasan desain**
8.3.1 *Ketebalan minimum pelat*	**R8.3.1** *Ketebalan minimum pelat* – Ketebalan minimum pelat pada 8.3.1.1 dan 8.3.1.2 tidak tergantung pada pembebanan dan modulus elastisitas beton, keduanya memiliki pengaruh signifikan pada lendutan. Ketebalan minimum ini tidak berlaku untuk pelat dengan beban tambahan yang sangat besar atau untuk beton dengan modulus elastisitas yang relatif rendah dibandingkan beton normal. Lendutan harus dihitung untuk situasi tersebut.
8.3.1.1 Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada Tabel 8.3.1.1, dan memiliki	**R8.3.1.1** Ketebalan minimum pada Tabel 8.3.1.1 adalah telah dikembangkan selama bertahun-tahun.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

nilai terkecil antara a) atau b), kecuali batasan lendutan yang dihitung dari 8.3.2 dipenuhi:

a) Pelat tanpa *drop panel* sesuai 8.2.4…….125 mm
b) Pelat dengan *drop panel* sesuai 8.2.4 ……..100 mm

Tabel 8.3.1.1 – Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)[1]

f_y, MPa[2]	Tanpa *drop panel*[3]			Dengan *drop panel*[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

[1] ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
[2] Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear
[3] *Drop panel* sesuai 8.2.4
[4] Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7

8.3.1.2 Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 8.3.1.2, kecuali batas lendutan yang dihitung dengan 8.3.2 dipenuhi.

R8.3.1.2 Untuk panel yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar dari 2, penggunaan persamaan (b) dan (d) pada Tabel 8.3.1.2, dengan perbandingan bentang terpanjang, dapat memberikan hasil yang tidak masuk akal. Untuk panel tersebut diharuskan menggunakan aturan yang berlaku untuk konstruksi satu arah di 7.3.1.

Tabel 8.3.1.2 – Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

α_{fm} [1]	***h*** **minimum, mm**		
$\alpha_{fm} \le 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \le 2,0$	Terbesar dari:	$\dfrac{\ell_n\left(0,8+\dfrac{f_y}{1400}\right)}{36+5\beta\left(\alpha_{fm}-0,2\right)}$	(b)[2],[3]
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\dfrac{\ell_n\left(0,8+\dfrac{f_y}{1400}\right)}{36+9\beta}$	(d)[2],[3]
		90	(e)

8.3.1.2.1 Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai 8.3.1.2, harus disediakan balok tepi dengan $\alpha_f \ge 0,80$, atau ketebalan minimum harus memenuhi (b) atau (d) pada Tabel 8.3.1.2 dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

8.3.1.3 Ketebalan penutup lantai (*floor finish*) beton diizinkan untuk dimasukkan ke dalam nilai ***h*** jika pengecoran dilakukan secara monolit dengan pelat lantai atau jika penutup lantai dirancang komposit dengan pelat lantai sesuai 16.4.

R8.3.1.3 Standar ini tidak menyebutkan secara spesifik ketebalan tambahan untuk permukaan aus yang digunakan untuk kondisi yang banyak gerusan. Penambahan ketebalan untuk kondisi yang banyak gerusan, diserahkan pada perencana ahli bersertifikat.

Penutup lantai beton dapat dipertimbangkan untuk tambahan kerkuatan jika dicor secara monolit dengan pelat. Penutup lantai beton dengan pengecoran terpisah diizinkan dimasukkan ke dalam ketebalan struktur jika aksi komposit terjadi sesuai 16.4.

8.3.1.4 Jika sengkang kaki tunggal atau kaki banyak digunakan sebagai tulangan geser, ketebalan pelat harus cukup untuk memenuhi persyaratan untuk ***d*** sesuai 22.6.7.1.

8.3.2 *Perhitungan batas lendutan*

R8.3.2 *Perhitungan batas lendutan*

8.3.2.1 Lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai 24.2 dan tidak boleh melebihi batas dalam 24.2.2 untuk pelat dua arah yang diberikan dalam a) hingga c):

a) Pelat nonprategang yang tidak memenuhi 8.3.1

R8.3.2.1 Untuk pelat datar prategang yang kontinu di atas dua atau lebih bentang pada setiap arah, rasio bentang terhadap ketebalan umumnya tidak boleh melebihi 42 untuk lantai dan 48 untuk atap; batas ini dapat ditingkatkan menjadi 48 dan 52, jika perhitungan membuktikan bahwa baik lendutan jangka pendek maupun jangka panjang, lawan lendut (*camber*), dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya dan memiliki rasio bentang panjang dan bentang pendek melebihi 2,0 c) Pelat prategang	frekuensi dan amplitudo getaran masih memenuhi syarat. Lendutan jangka pendek dan jangka panjang serta lawan lendut harus dihitung dan diperiksa terhadap persyaratan kemampuan layan dari struktur tersebut.
8.3.2.2 Untuk pelat beton komposit nonprategang yang memenuhi 8.3.1.1 atau 8.3.1.2, lendutan yang terjadi setelah struktur menjadi komposit tidak perlu dihitung. Lendutan yang terjadi sebelum struktur menjadi komposit harus ditinjau, kecuali ketebalan prakomposit juga memenuhi 8.3.1.1 atau 8.3.1.2.	**R8.3.2.2** Jika sebagian elemen struktur komposit adalah prategang, atau jika komponen struktur diprategang setelah pengecoran, ketentuan 8.3.2.1 berlaku dan lendutan harus dihitung. Untuk komponen komposit nonprategang, lendutan perlu dihitung dan dibandingkan dengan nilai batas pada Tabel 24.2.2, hanya jika ketebalan elemen struktur pracetak tersebut kurang dari ketebalan minimum yang diberikan pada Tabel 8.3.1.1. Dalam konstruksi tanpa penopang (*unshored)*, ketebalan bergantung pada apakah lendutan sebelum atau sesudah aksi komposit yang efektif di perhitungkan.
8.3.3 *Batas regangan tulangan pelat nonprategang*	**R8.3.3** *Batas regangan tulangan pelat nonprategang*
8.3.3.1 Untuk pelat nonprategang, ε_t sekurang-kurangnya 0,004.	**R8.3.3.1** Pengaruh dari batasan ini adalah untuk membatasi rasio tulangan pada pelat nonprategang untuk mengurangi perilaku getas lentur jika terjadi kelebihan beban. Batasan ini tidak berlaku untuk pelat prategang.
8.3.4 *Batas tegangan pelat prategang*	
8.3.4.1 Pelat prategang harus didesain sebagai Kelas U dengan $f_t \leq 0{,}5\sqrt{f_c'}$. Tegangan lain pada pelat prategang sesaat setelah transfer dan saat beban layan tidak boleh melebihi tegangan izin pada 24.5.3 dan 24.5.4.	
8.4 - Kekuatan perlu **8.4.1** *Umum*	**R8.4 - Kekuatan perlu** **R8.4.1** *Umum*
8.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban terfaktor dalam Pasal 5.	
8.4.1.2 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan prosedur analisis yang diberikan pada Pasal 6. Sebagai alternatif,	**R8.4.1.2** Penggunaan metode analisis rangka ekuivalen (lihat 8.11) atau metode analisis numerik diperlukan untuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

ketentuan-ketentuan dari 8.10 untuk metode desain langsung diizinkan untuk analisis pelat nonprategang dan ketentuan-ketentuan dari 8.11 untuk metode kerangka ekuivalen diizinkan untuk analisis pelat prategang dan nonprategang, kecuali 8.11.6.5 dan 8.11.6.6 tidak berlaku untuk pelat prategang.

8.4.1.3 Untuk pelat prategang, pengaruh reaksi perletakan akibat prategang harus diperhitungkan sesuai 5.3.11.

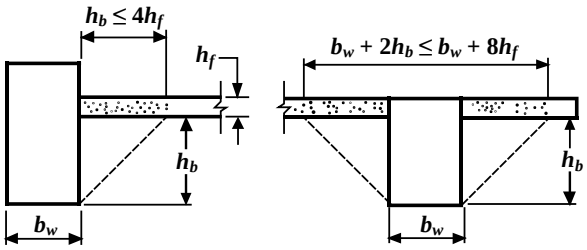
8.4.1.4 Untuk sistem pelat yang ditumpu oleh kolom atau dinding, dimensi c_1, c_2, dan ℓ_n harus didasarkan pada luas tumpuan efektif yang didefinisikan oleh perpotongan bawah pelat, atau *drop panel* atau kepala kolom bila ada, dengan kerucut lingkaran tegak lurus, piramida tegak lurus, atau baji tirus (*tapered wedge)* terbesar yang permukaannya berada dalam kolom dan kepala kolom (*capital*) atau *bracket* dan diorientasikan tidak lebih besar dari 45 derajat terhadap sumbu kolom.

8.4.1.5 Lajur kolom adalah suatu lajur desain dengan lebar pada masing-masing sisi garis pusat kolom sama dengan nilai terkecil dari $0{,}25\ell_2$ dan $0{,}25\ell_1$. Lajur kolom harus termasuk balok dalam lajur, bila ada.

PENJELASAN

penentuan baik momen layan maupun momen terfaktor, serta geser pada sistem pelat prategang. Metode analisis rangka ekuivalen telah dibuktikan oleh pengujian model dengan struktur besar untuk memprediksi momen terfaktor dan geser pada sistem pelat prategang (Smith and Burns 1974; Burns and Hemakom 1977; Hawkins 1981; PTI DC10.5; Gerber and Burns 1971; Scordelis et al. 1959). Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa analisis dengan menggunakan penampang prismatik atau perkiraan kekakuan lainnya dapat memberikan hasil yang salah dan tidak aman. Pasal 8.11.6.5 tidak diaplikasikan ke sistem pelat prategang. Redistribusi momen untuk pelat prategang, dapat diizinkan sesuai 6.6.5. Pasal 8.11.6.6 tidak berlaku untuk sistem pelat prategang karena distribusi momen antara lajur kolom dan lajur tengah yang dipersyaratkan 8.11.6.6 didasarkan pada pengujian pelat beton nonprategang. Metode analisis yang disederhanakan dengan menggunakan koefisien rata-rata tidak berlaku untuk sistem pelat beton prategang. PTI DC20.8 menyediakan panduan untuk sistem pelat beton prategang.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.4.1.6 Lajur tengah adalah suatu lajur desain yang dibatasi oleh dua lajur kolom.	
8.4.1.7 Suatu panel dibatasi oleh sumbu-sumbu kolom, balok, atau dinding pada semua sisinya.	**R8.4.1.7** Sebuah panel mencakup semua elemen lentur antar garis tengah kolom. Dengan demikian, lajur kolom mencakup balok, jika ada.
8.4.1.8 Untuk konstruksi monolit atau komposit penuh yang menumpu pelat dua arah, suatu balok mencakup bagian pelat pada setiap sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi bagian balok di atas atau di bawah pelat tersebut, diambil yang terbesar, tapi tidak lebih besar dari empat kali tebal pelat.	**R8.4.1.8** Untuk konstruksi monolit atau konstruksi komposit penuh, sebagian dari pelat sebagai sayap merupakan bagian dari balok. Dua contoh aturan diberikan pada Gambar R8.4.1.8.
	
	Gambar R8.4.1.8 – Contoh bagian pelat yang dimasukkan ke balok sesuai 8.4.1.8.
8.4.1.9 Penggabungan hasil analisis beban gravitasi dengan hasil analisis beban lateral diizinkan.	
8.4.2 *Momen terfaktor*	**R8.4.2** *Momen terfaktor*
8.4.2.1 Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, M_u pada tumpuan diizinkan untuk dihitung pada muka tumpuan, kecuali jika dianalisis sesuai 8.4.2.2.	
8.4.2.2 Untuk pelat yang dianalisis dengan menggunakan metode desain langsung atau metode rangka ekuivalen, M_u pada tumpuan harus sesuai 8.10 atau 8.11.	
8.4.2.3 *Momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom*	**R8.4.2.3** *Momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom*
8.4.2.3.1 Jika beban gravitasi, angin, gempa, atau pengaruh lainnya menyebabkan transfer momen di antara pelat dan kolom, fraksi M_{sc} momen pelat terfaktor ditahan oleh kolom pada *joint*, harus ditransfer secara lentur sesuai 8.4.2.3.2 hingga 8.4.2.3.5.	**R8.4.2.3.1** Bagian ini berkaitan dengan sistem pelat tanpa balok.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

8.4.2.3.2 Besarnya fraksi momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom, $\gamma_f M_{sc}$, harus dianggap untuk disalurkan sebagai lentur, dimana γ_f harus dihitung dengan:

$$\gamma_f = \frac{1}{1+\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \qquad (8.4.2.3.2)$$

8.4.2.3.3 Lebar efektif pelat b_{pelat} untuk menahan $\gamma_f M_{sc}$ harus selebar kolom atau kepala kolom ditambah $1{,}5h$ dari pelat atau *drop panel* pada salah satu sisi kolom atau kepala kolom.

8.4.2.3.4 Untuk pelat nonprategang, dimana batasan pada v_{ug} dan ε_t pada Tabel 8.4.2.3.4 terpenuhi, γ_f diizinkan untuk dinaikkan ke nilai termodifikasi maksimum seperti pada Tabel 8.4.2.3.4, di mana v_c dihitung sesuai 22.6.5, dan v_{ug} adalah tegangan geser terfaktor pada penampang kritis pelat untuk aksi dua arah akibat beban gravitasi tanpa transfer momen.

Tabel 8.4.2.3.4 – Nilai termodifikasi maksimum γ_f untuk pelat dua arah nonprategang

Letak kolom	Arah bentang	v_{ug}	ε_t (termasuk b_{pelat})	Modifikasi γ_f maksimum
Kolom sudut	Salah satu arah	$\leq 0{,}5\phi v_c$	≥0,004	1,0
Kolom tepi	Tegak lurus tepi	$\leq 0{,}75\phi v_c$	≥0,004	1,0
	Sejajar tepi	$\leq 0{,}4\phi v_c$	≥0,010	$\frac{1{,}25}{1+\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \leq 1{,}0$
Kolom interior	Salah satu arah	$\leq 0{,}4\phi v_c$	≥0,010	$\frac{1{,}25}{1+\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \leq 1{,}0$

PENJELASAN

8.4.2.3.3 Hasil tes dan pengalaman menunjukkan bahwa, kecuali ada langkah yang diterapkan untuk menahan tegangan torsi dan geser, semua tulangan yang menopang momen yang ditransfer ke kolom lewat lentur harus ditempatkan antara garis satu setengah tebal pelat atau *drop panel*, $1{,}5h$ pada kedua sisi kolom.

R8.4.2.3.4 Pengujian mengindikasikan bahwa pendistribusian M_{sc} yang disalurkan oleh geser dan lentur pada kolom eksterior dan interior cukup fleksibel. Kolom interior, eksterior, dan kolom sudut mengacu pada sambungan pelat-kolom yang mana keliling kritis untuk kolom persegi panjang memiliki empat, tiga, atau dua sisi.

Pada kolom eksterior, untuk M_{sc} yang menahan sumbu yang sejajar dengan tepinya, bagian momen yang disalurkan oleh eksentrisitas geser $\gamma_v M_{sc}$ dapat dikurangi, asalkan geser terfaktor yang diperhitungkan pada kolom (tidak termasuk geser yang dihasilkan akibat penyaluran momen) tidak melebihi 75 persen kekuatan geser ϕv_c sebagaimana didefinisikan dalam 22.6.5.1 untuk kolom tepi, atau 50 persen untuk kolom sudut. Pengujian (Moehle 1988; ACI 352.1R) mengindikasikan bahwa tidak ada interaksi yang signifikan antara geser dan M_{sc} pada kolom eksterior untuk kasus tersebut. Perhatikan bahwa sebagai $\gamma_v M_{sc}$ menurun, $\gamma_f M_{sc}$ akan meningkat.

Evaluasi pengujian kolom interior menunjukkan bahwa fleksibilitas dalam mendistribusikan M_{sc} yang disalurkan melalui geser dan lentur dimungkinkan, namun dengan lebih terbatas daripada kolom eksterior. Untuk kolom interior, M_{sc} yang disalurkan dengan lentur diizinkan untuk ditingkatkan hingga 25 persen, asalkan geser terfaktor yang diperhitungkan (tidak termasuk geser yang

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	disebabkan oleh perpindahan momen) pada kolom interior tidak melebihi 40 persen dari kekuatan geser ϕv_c sebagaimana didefinisikan dalam 22.6.5.1. Jika geser terfaktor untuk sambungan kolom-pelat cukup besar, sambungan kolom-pelat tidak selalu bisa menyalurkan semua tulangan dengan lebar efektif. Modifikasi sambungan kolom-pelat interior dalam ketentuan ini hanya diizinkan untuk tulangan yang diperlukan untuk mengembangkan $\gamma_f M_{sc}$ pada lebar efektif yang memiliki tegangan tarik bersih ε_t tidak kurang dari 0,010. Penggunaan Pers. (8.4.2.3.2) tanpa modifikasi yang diizinkan dalam ketentuan ini umumnya akan menunjukkan kondisi kelebihan tegangan pada *joint*. Ketentuan ini dimaksudkan untuk meningkatkan perilaku daktail pada sambungan pelat-kolom. Jika momen yang berlawanan terjadi pada sisi lainnya pada kolom interior, rasio tulangan atas dan bawah harus dipusatkan pada lebar efektif. Rasio tulangan atas dan bawah sebesar 2 sudah cukup seperti ditunjukkan oleh pengamatan.
8.4.2.3.5 Konsentrasi tulangan pada kolom dengan spasi yang lebih rapat atau tulangan tambahan harus digunakan untuk menahan momen pada lebar efektif pelat sesuai 8.4.2.3.2 dan 8.4.2.3.3.	
8.4.2.3.6 Fraksi M_{sc} yang tidak menahan lentur harus dianggap ditahan oleh eksentrisitas geser sesuai 8.4.4.2.	
8.4.3 *Geser satu arah terfaktor*	
8.4.3.1 Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, V_u pada tumpuan harus dihitung pada muka tumpuan.	
8.4.3.2 Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh d dari permukaan tumpuan untuk pelat nonprategang atau $h/2$ dari muka tumpuan untuk pelat prategang harus dirancang untuk memenuhi V_u pada penampang kritis jika a) hingga c) terpenuhi:	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
a) Reaksi perletakan, dalam arah geser yang terjadi, menimbulkan tekan ke daerah ujung pelat b) Beban diberikan pada atau dekat bagian atas permukaan pelat c) Tidak ada beban terpusat antara muka tumpuan dan penampang kritis	
8.4.4 *Geser dua arah terfaktor*	**R8.4.4** *Geser dua arah terfaktor* – Tegangan geser yang dihitung di pelat di sekitar kolom harus sesuai dengan persyaratan 22.6.
8.4.4.1 *Penampang kritis*	
8.4.4.1.1 Pelat harus dievaluasi untuk geser dua arah di dekat kolom, beban terpusat, dan daerah reaksi pada penampang kritis sesuai 22.6.4.	
8.4.4.1.2 Pelat yang ditulangi dengan sengkang atau tulangan geser berkepala (*headed shear stud*) harus dievaluasi untuk geser dua arah pada penampang kritis sesuai 22.6.4.2.	
8.4.4.1.3 Pelat yang diperkuat dengan kepala geser (*shear heads*) harus dievaluasi untuk geser dua arah pada penampang kritis sesuai 22.6.9.8.	
8.4.4.2 *Tegangan geser dua arah terfaktor akibat geser dan momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom*	**R8.4.4.2** *Tegangan geser dua arah terfaktor akibat geser dan momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom*
8.4.4.2.1 Untuk geser dua arah dengan momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom, tegangan geser terfaktor v_u harus dihitung pada penampang kritis sesuai 8.4.4.1. Tegangan geser terfaktor v_u sesuai kombinasi v_{ug} dan tegangan geser yang dihasilkan oleh $\gamma_v M_{sc}$, di mana γ_v diberikan pada 8.4.4.2.2 dan M_{sc} diberikan pada 8.4.2.3.1.	
8.4.4.2.2 Fraksi M_{sc} yang ditransfer oleh eksentrisitas geser, $\gamma_v M_s$, harus diterapkan pada pusat penampang kritis sesuai 8.4.4.1, di mana: $\gamma_v = 1 - \gamma_f$ (8.4.4.2.2)	**R8.4.4.2.2** Hanson dan Hanson (1968) menemukan bahwa saat momen disalurkan antara kolom dan pelat, 60 persen momen harus dipertimbangkan untuk disalurkan oleh lentur melewati keliling kritis yang didefinisikan dalam 22.6.4.1, dan 40 persen oleh eksentrisitas geser dari pusat penampang kritis. Untuk kolom persegi panjang, bagian momen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	yang ditransfer oleh lentur meningkat seiring dengan lebar kritis dari muka kolom yang menahan momen meningkat, seperti yang diberikan oleh Pers. (8.4.2.3.2). Sebagian besar data di Hanson dan Hanson (1968) diperoleh dari pengujian kolom persegi. Informasi terbatas tersedia untuk kolom lingkaran; Namun, ini dapat diperkirakan sebagai kolom persegi menurut 8.10.1.3.
8.4.4.2.3 Tegangan geser terfaktor yang dihasilkan dari $\gamma_v M_{sc}$ dianggap bervariasi linear terhadap pusat penampang kritis sesuai 8.4.4.1	**R8.4.4.2.3** Distribusi tegangan diilustrasikan pada Gambar R8.4.4.2.3 untuk kolom interior atau eksterior. Keliling pada penampang kritis, ***ABCD***, ditentukan sesuai 22.6.4.1. Tegangan geser terfaktor v_{ug} dan momen pelat terfaktor yang ditahan oleh kolom M_{sc} ditentukan pada sumbu ***c-c*** dari penampang kritis. Tegangan geser terfaktor maksimum bisa dihitung dari : $$v_{u,AB} = v_{ug} + \frac{\lambda_v M_{sc} c_{AB}}{J_c}$$ atau $$v_{u,CD} = v_{ug} - \frac{\lambda_v M_{sc} c_{CD}}{J_c}$$ dimana γ_v diberikan oleh Pers. (8.4.4.2.2). Untuk kolom interior, J_c dapat dihitung dengan: J_c = bagian dari penampang kritis diasumsikan dengan momen polar inersia $$= \frac{d(c_1+d)^3}{6} + \frac{(c_1+d)d^3}{6} + \frac{d(c_2+d)(c_1+d)^2}{2}$$ Persamaan serupa dapat dikembangkan untuk J_c untuk kolom yang terletak di tepi atau sudut pelat. Bagian M_{sc} yang tidak disalurkan oleh eksentrisitas geser seharusnya disalurkan oleh lentur sesuai 8.4.2.3. Metode konservatif memberikan bagian yang disalurkan oleh lentur pada lebar pelat efektif yang didefinisikan dalam 8.4.2.3.3. Seringkali, lajur tulangan kolom dikonsentrasikan di dekat kolom untuk mengakomodasi M_{sc}. Data uji yang ada (Hanson dan Hanson 1968) nampaknya menunjukkan bahwa praktik ini tidak meningkatkan kekuatan geser namun

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

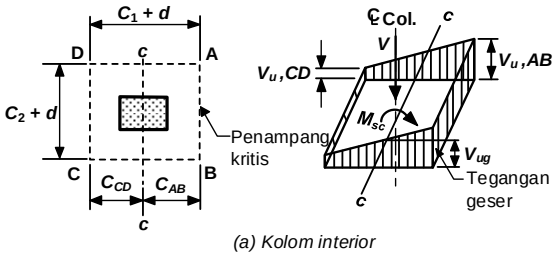
STANDAR

PENJELASAN

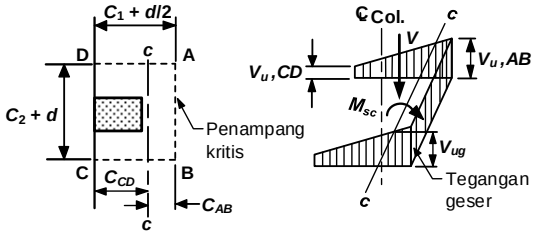
mungkin diperlukan untuk meningkatkan kekakuan pada pertemuan kolom-pelat.

Data uji (Hawkins 1981) menunjukkan bahwa kekuatan momen perpindahan dari sambungan pelat ke kolom prategang dapat dihitung dengan menggunakan prosedur 8.4.2.3 dan 8.4.4.2.

Ketika tulangan geser telah digunakan, penampang kritis di luar tulangan geser umumnya memiliki bentuk poligonal (Gambar R8.7.6d dan e). Persamaan untuk menghitung tegangan geser pada bagian tersebut diberikan pada ACI 421.1R.



(a) Kolom interior



(b) Kolom eksterior

Gambar R8.4.2.3 – Asumsi distribusi tegangan geser

8.5 - Kekuatan desain

8.5.1 *Umum*

8.5.1.1 Untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, dan mencakup a) hingga d). Hubungan antara pengaruh beban harus dipertimbangkan.

a) $\phi M_n \geq M_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah
b) $\phi M_n \geq \gamma_f M_{sc}$ dalam b_{pelat} seperti yang didefinisikan pada 8.4.2.3.3
c) $\phi V_n \geq V_u$ di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah
d) $\phi v_n \geq v_u$ pada penampang kritis yang didefinisikan pada 8.4.4.1 untuk geser dua arah

R8.5 - Kekuatan desain

R8.5.1 *Umum*

R8.5.1.1 Lihat R9.5.1.1.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.5.1.2 ϕ harus sesuai 21.2.	
8.5.1.3 Jika kepala geser digunakan, 22.6.9 dan 8.5.1.1 a) harus dipenuhi untuk daerah di dekat kolom. Di luar masing-masing lengan kepala geser, 8.5.1.1 a) hingga d) harus diterapkan.	
8.5.2 *Momen*	
8.5.2.1 M_n harus dihitung sesuai 22.3.	
8.5.2.2 Dalam menghitung M_n untuk pelat nonprategang dengan *drop panel*, ketebalan *drop panel* di bawah pelat tidak boleh dianggap lebih besar dari seperempat jarak tepi *drop panel* ke muka kolom atau kepala kolom (*column capital*).	
8.5.2.3 Dalam menghitung M_n untuk pelat prategang, tendon eksternal harus dipertimbangkan sebagai tendon tanpa lekatan kecuali jika tendon eksternal terlekat efektif pada pelat di sepanjang bentang.	
8.5.3 *Geser*	**R8.5.3** *Geser*
8.5.3.1 Kekuatan geser desain pelat di area dekat kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi tumpuan harus diambil yang lebih besar dari 8.5.3.1.1 dan 8.5.3.1.2.	**R8.5.3.1** Harus dibedakan antara pelat panjang dan ramping dan pelat yang memiliki aksi dua arah dimana kegagalan bisa terjadi karena *punching* di sepanjang kerucut terpancung (*truncated cone*) atau piramid di sekitar beban terpusat atau daerah tumpuan.
8.5.3.1.1 Untuk geser satu arah, setiap penampang kritis yang dihitung mencakup lebar seluruh bidang pelat, V_n harus dihitung sesuai 22.5.	
8.5.3.1.2 Untuk geser dua arah, V_n dihitung sesuai 22.6.	
8.5.3.2 Untuk pelat beton komposit, kekuatan geser horizontal V_{nh} harus dihitung sesuai 16.4.	
8.5.4 *Bukaan pada sistem pelat*	
8.5.4.1 Bukaan dengan berbagai ukuran diizinkan pada sistem pelat bila ditunjukkan oleh analisis bahwa persyaratan kekuatan dan kemampuan layan, termasuk batas lendutan dipenuhi.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

8.5.4.2 Sebagai alternatif 8.5.4.1, bukaan diizinkan pada sistem pelat tanpa balok sesuai a) hingga d).

a) Bukaan dengan berbagai ukuran diizinkan pada daerah yang umum terjadi di perpotongan lajur-lajur tengah, namun jumlah tulangan total pada panel harus paling sedikit sama dengan yang diperlukan untuk panel tanpa bukaan.
b) Pada perpotongan dua lajur kolom, tidak lebih dari seperdelapan lebar lajur kolom pada masing-masing bentang terpotong oleh bukaan. Jumlah tulangan sekurang-kurangnya sama dengan tulangan yang terpotong oleh bukaan harus ditambahkan pada sisi-sisi bukaan.
c) Pada perpotongan satu lajur kolom dan satu lajur tengah, tidak lebih dari seperempat tulangan pada masing-masing lajur terpotong oleh bukaan. Jumlah tulangan sekurang-kurangnya sama dengan tulangan yang terpotong oleh bukaan harus ditambahkan pada sisi-sisi bukaan.
d) Jika bukaan terletak di dalam lajur kolom atau daerah yang lebih dekat $\mathbf{10}\boldsymbol{h}$ dari beban terpusat atau daerah reaksi tumpuan, 22.6.4.3 untuk pelat tanpa kepala geser atau 22.6.9.9 untuk pelat dengan kepala geser harus dipenuhi.

8.6 - Batasan tulangan

8.6.1 *Tulangan lentur minimum pelat nonprategang*

8.6.1.1 Luas minimum tulangan lentur, $A_{s,min}$, harus disediakan di dekat muka tarik pada arah bentang yang ditinjau sesuai Tabel 8.6.1.1.

Tabel 8.6.1.1 – $A_{s,min}$ untuk pelat dua arah nonprategang

Jenis Tulangan	f_y, MPa	$A_{s,min}$, mm²	
Batang ulir	< 420	$0{,}0020A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0{,}0018\times 420}{f_y}A_g$
			$0{,}0014A_g$

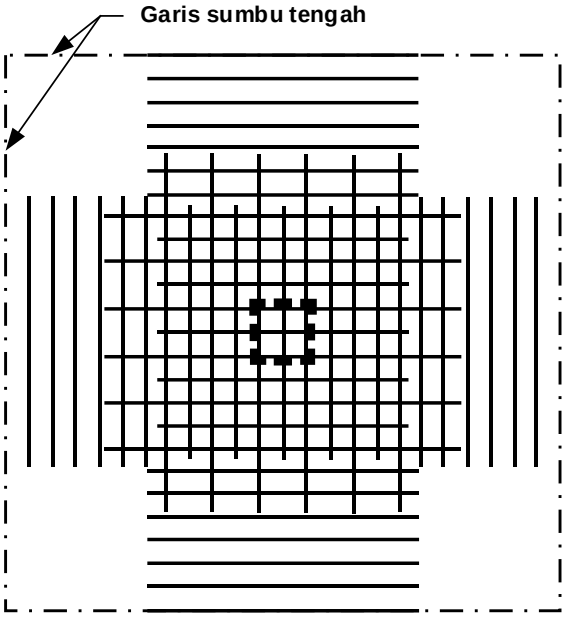
R8.6 - Batasan tulangan

R8.6.1 *Tulangan lentur minimum pelat nonprategang*

R8.6.1.1 Persyaratan luas tulangan ulir atau tulangan kawat ulir yang dilas digunakan sebagai tulangan lentur minimum adalah sama seperti yang disyaratkan untuk susut dan suhu pada 24.4.3.2. Namun, pengaruh susut dan suhu pada tulangan diizinkan untuk didistribusikan pada dua muka pelat jika dianggap telah sesuai pada kondisi tertentu, tulangan lentur minimum harus diletakkan sedekat mungkin dengan muka beton tertarik akibat pembebanan.

Gambar R8.6.1.1 mengilustrasikan susunan tulangan minimum yang dibutuhkan pada bagian atas pelat dua arah yang menumpu beban gravitasi merata. Titik pemutusan pada tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	didasarkan pada persyaratan yang ditunjukkan pada Gambar 8.7.4.1.3a. Untuk meningkatkan kontrol retak dan untuk mencegah potensi retak akibat geser *punching* (*punching shear)*, Perencana ahli bersertifikat sebaiknya mempertimbangkan untuk menempatkan tulangan menerus di setiap arah di dekat permukaan pelat dua arah, seperti pelat transfer, pelat podium, dan pondasi rakit. Lihat juga R8.7.4.1.3.
	 **Gambar R8.6.1.1 – Pengaturan tulangan minimum dekat bagian atas pelat dua arah**
8.6.2 *Tulangan lentur minimum pelat prategang*	**R8.6.2** *Tulangan lentur minimum pelat prategang*
8.6.2.1 Untuk pelat prategang, gaya prategang efektif $A_{ps}f_{se}$ harus memberikan tegangan tekan rata-rata minimum 0,9 MPa pada tributari penampang pelat untuk tendon atau kelompok tendon. Untuk pelat dengan penampang bervariasi sepanjang bentang pelat, baik sejajar atau tegak lurus terhadap tendon atau kelompok tendon, tegangan prategang efektif rata-rata minimum 0,9 MPa disyaratkan pada setiap tributari penampang tendon atau kelompok tendon sepanjang bentang.	**R8.6.2.1** Gaya prategang efektif minimum rata-rata 0,9 MPa digunakan pada uji pelat dua arah pada awal tahun 1970 untuk mengatasi masalah geser *punching* (*punching shear)* pada pelat bertulangan ringan. Untuk alasan ini, gaya prategang efektif minimum diberikan pada semua penampang. Jika ketebalan pelat bervariasi sepanjang bentang pelat atau tegak lurus terhadap bentang pelat, sehingga menghasilkan penampang pelat yang bervariasi, gaya prategang efektif minimum 0,9 MPa dan jarak tendon maksimum yang diperlukan pada setiap penampang tributari terhadap tendon atau kelompok tendon sepanjang bentang, untuk kedua ketebalan baik yang tipis maupun yang tebal. Hal ini dapat menghasilkan f_{pc} minimum yang lebih tinggi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

8.6.2.2 Untuk pelat dengan tulangan prategang terlekat, jumlah A_s dan A_{ps} harus memadai untuk mengembangkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 kali beban retak yang dihitung berdasarkan f_r yang didefinisikan pada 19.2.3.

8.6.2.2.1 Untuk pelat dengan kekuatan lentur dan geser desain paling sedikit dua kali kekuatan perlu, 8.6.2.2 tidak perlu dipenuhi.

8.6.2.3 Untuk pelat prategang, luas minimum tulangan ulir longitudinal terlekat, $A_{s,min}$, harus disediakan pada daerah tarik yang semula tertekan dalam arah bentang yang ditinjau sesuai Tabel 8.6.2.3.

Tabel 8.6.2.3 – Tulangan ulir longitudinal terlekat $A_{s,min}$, pada pelat dua arah dengan tendon terlekat atau tanpa lekatan

Daerah	f_t terhitung setelah semua kehilangan prategang, MPa	$A_{s,min}$, mm^2	
Momen positif	$f_t \le 0{,}17\sqrt{f_c'}$	Tidak disyaratkan	(a)
	$0{,}17\sqrt{f_c'} < f_t \le 0{,}50\sqrt{f_c'}$	$\frac{N_c}{0{,}5 f_y}$	(b)[1],[2],[4]
Momen negatif kolom	$f_t \le 0{,}5\sqrt{f_c'}$	$0{,}00075 A_{cf}$	(c)[3],[4]

[1] Nilai f_y tidak boleh melebihi 420 MPa.

[2] N_c adalah gaya tarik resultan yang bekerja pada bagian penampang beton yang dikenai tegangan tarik akibat pengaruh kombinasi beban layan dan gaya prategang efektif.

PENJELASAN

pada penampang melintang yang lebih tipis, dan jarak tendon kurang dari nilai maksimum pada bagian penampang yang lebih tebal disepanjang bentang dengan ketebalan yang bervariasi, akibat aspek praktis dalam pemasangan tendon di lapangan.

R8.6.2.2 Ketentuan ini merupakan tindakan pencegahan terhadap kegagalan lentur tiba-tiba setelah terjadinya retak. Elemen struktur lentur didesain sesuai ketentuan peraturan, memerlukan tambahan beban yang besar yang melewati batas retak sampai mencapai batas kuat lenturnya. Dengan demikian, lendutan yang cukup besar akan memberi peringatan bahwa kekuatan elemen struktur hampir mendekati batasnya. Jika kekuatan lentur tercapai sesaat setelah retak, peringatan lendutan tidak akan terjadi. Pemindahan gaya antara beton dan baja prategang, dan kegagalan lentur mendadak terjadi segera setelah retak, tidak akan terjadi bila baja prategang tidak terlekat (ACI 423.3R); Oleh karena itu, persyaratan ini tidak berlaku bagi elemen struktur dengan tendon tanpa lekatan.

8.6.2.3 Beberapa tulangan terlekat diperlukan oleh standar ini pada pelat prategang untuk membatasi lebar dan spasi retak pada beban layan bila tegangan tarik beton melebihi modulus keruntuhan dan untuk pelat dengan tendon tanpa lekatan, untuk memastikan kinerja lentur pada kekuatan nominal, bukan kinerja sebagai pelengkung. Adanya tulangan terlekat minimum sebagaimana diatur dalam ketentuan ini membantu memastikan kinerja yang memadai.

Jumlah minimum tulangan terlekat pada sistem pelat datar dua arah didasarkan pada laporan *Joint* ACI-ASCE *Committee* 423 (1958) dan ACI 423.3R. Penelitian terbatas yang tersedia untuk pelat datar dua arah dengan penebalan pelat (*drop panel*) (Odello dan Mehta 1967) menunjukkan bahwa perilaku sistem ini mirip dengan perilaku pelat datar.

Untuk beban dan panjang bentang yang umum, uji pelat datar dirangkum dalam *Joint* ACI-ASCE Committee 423 (1958) dan pengalaman sejak standar 1963

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

[3] A_{cf} adalah luas penampang bruto terbesar pada lajur-lajur pelat-balok dari dua rangka ekuivalen tegak lurus yang berpotongan pada kolom pelat dua arah.

[4] Untuk pelat dengan tendon terlekat, diperbolehkan untuk mereduksi $A_{s,min}$ dengan luas tulangan prategang terlekat terletak pada area yang digunakan untuk menentukan N_c untuk momen positif, atau di dalam lebar pelat yang didefinisikan 8.7.5.3(a) untuk momen negatif.

PENJELASAN

menunjukkan pemenuhan kinerja tanpa tulangan terlekat pada momen positif bilamana $f_t \leq 0{,}17\sqrt{f_c'}$. Di daerah momen positif bilamana $\mathbf{0{,}17}\sqrt{\boldsymbol{f_c'}} < \boldsymbol{f_t} \leq \mathbf{0{,}50}\sqrt{\boldsymbol{f_c'}}$, diperlukan tulangan terlekat minimum proporsional untuk menahan $\boldsymbol{N_c}$ menurut Pers. (8.6.2.3 (b)). Gaya tarik $\boldsymbol{N_c}$ dihitung pada beban layan saat tidak terjadi retak atau penampang homogen.

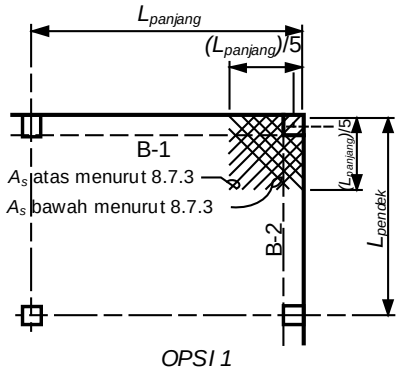
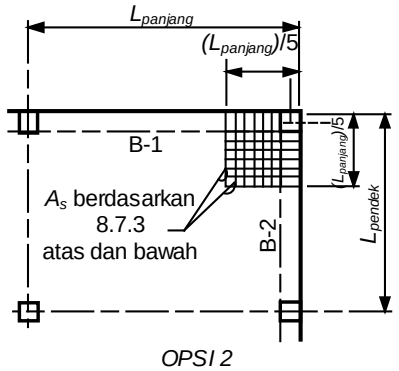
Penelitian pada pelat datar dua arah metode sistem pascatarik tanpa lekatan (*Joint* ACI-ASCE *Committee* 423 1958, 1974; ACI 423.3R; Odello dan Mehta 1967) menunjukkan bahwa tulangan terlekat di daerah momen negatif, setara dengan 0,075 persen luas penampang lajur pelat-balok, menyediakan daktilitas yang cukup dan mengurangi lebar dan spasi retak. Luas tulangan terlekat yang sama diperlukan pada pelat dengan tendon terlekat atau tanpa lekatan. Luas tulangan terlekat minimum yang dibutuhkan oleh Pers. (8.6.2.3 (c)) adalah luas minimum yang tidak terkait dengan mutu tulangan atau kuat leleh desain tulangan. Untuk memperhitungkan perbedaan pada bentang tributari yang berdekatan, persamaan ini diberikan atas dasar rangka ekuivalen seperti didefinisikan dalam 8.11.2 dan digambarkan pada Gambar. R8.11.2. Untuk panel pelat persegi empat, persamaan ini konservatif berdasarkan luas penampang yang lebih besar dari dua lajur pelat-balok rangka ekuivalen yang berpotongan di kolom. Hal ini untuk memastikan bahwa persentase minimum tulangan yang direkomendasikan oleh penelitian tersedia pada kedua arah. Pemusatan tulangan ini pada bagian atas pelat langsung melewati dan di sebelah kolom sangat penting. Penelitian juga menunjukkan bahwa di mana tegangan tarik rendah terjadi pada beban layan, perilaku yang memuaskan dicapai pada beban terfaktor tanpa tulangan terlekat. Namun, aturan ini memerlukan tulangan terlekat minimum tanpa memperhatikan tingkat tegangan beban layan untuk memastikan perilaku daktail dan lentur yang kontinu, dan untuk membatasi lebar dan spasi retak akibat beban lebih, suhu, atau susut. Penelitian tentang sambungan pelat datar ke kolom pascatarik dilaporkan

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dalam Smith dan Burns (1974), Burns and Hemakom (1977), Hawkins (1981), PTI TAB.1, dan Foutch et al. (1990). Penelitian menunjukkan bahwa komponen strukur pascatarik tanpa lekatan tidak memberikan disipasi energi yang besar akibat beban gempa yang kuat karena respons elemen struktur bersifat elastis. Untuk alasan ini, elemen struktur pascatarik tanpa lekatan yang ditulangi sesuai dengan ketentuan pasal ini harus dianggap hanya menahan beban vertikal dan bertindak sebagai diafragma horizontal antara elemen disipasi energi akibat beban gempa sebesar yang ditentukan dalam 18.2.1.
8.7 - Pendetailan tulangan	**R8.7 - Pendetailan tulangan**
8.7.1 *Umum*	
8.7.1.1 Selimut beton untuk tulangan harus sesuai 20.6.1.	
8.7.1.2 Panjang penyaluran tulangan ulir dan prategang harus sesuai 25.4.	
8.7.1.3 Panjang sambungan tulangan ulir sesuai 25.5.	
8.7.1.4 Tulangan bundel harus didetailkan sesuai 25.6.	
8.7.2 *Spasi tulangan lentur*	**R8.7.2** *Spasi tulangan lentur*
8.7.2.1 Spasi minimum s harus sesuai 25.2.	
8.7.2.2 Untuk pelat solid nonprategang, spasi maksimum s tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari $2h$ dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari $3h$ dan 450 mm pada penampang lainnya.	**R8.7.2.2** Persyaratan bahwa jarak tengah-ke-tengah tulangan tidak lebih dari dua kali ketebalan pelat hanya berlaku pada tulangan pelat solid, dan bukan untuk tulangan pada pelat berusuk atau pelat *waffle*. Batasan ini untuk memastikan reaksi pelat, pengendalian retak, dan memberikan kemungkinan beban terkonsentrasi pada luas pelat yang kecil. Lihat ke R24.3.
8.7.2.3 Untuk pelat prategang dengan beban merata, spasi maksimum s tendon atau kelompok tendon setidaknya dalam satu arah harus yang terkecil dari $8h$ dan 1,5 m.	**R8.7.2.3** Bagian ini memberikan panduan spesifik mengenai distribusi grup tendon yang diizinkan dalam satu arah. Metode distribusi tendon ini terbukti menunjukkan kinerja yang memuaskan melalui penelitian struktural (Burns dan Hemakom 1977).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

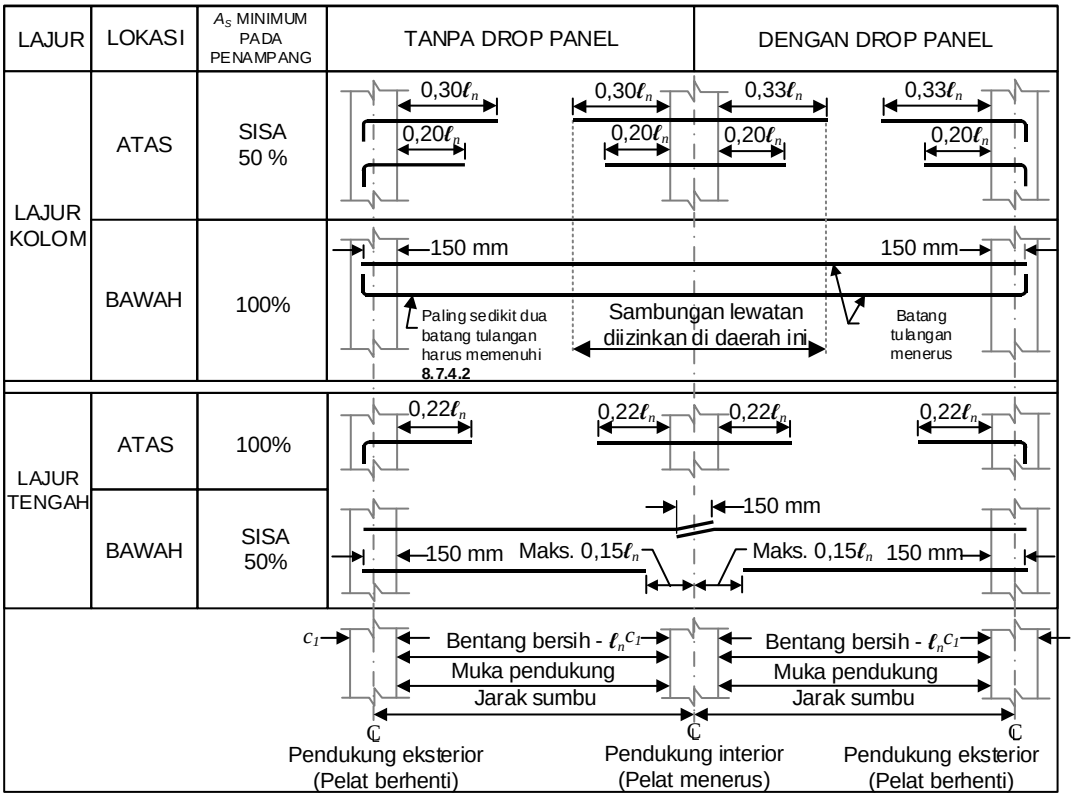
STANDAR	PENJELASAN
8.7.2.4 Beban terpusat dan bukaan harus dipertimbangkan dalam penentuan spasi tendon.	
8.7.3 *Tahanan sudut pelat*	**R8.7.3** *Tahanan sudut pelat*
8.7.3.1 Pada sudut pelat eksterior yang ditumpu oleh dinding tepi atau bila satu atau lebih balok tepi yang memiliki α_f lebih besar dari 1,0, tulangan atas dan bawah pelat harus didesain untuk menahan M_u per satuan lebar akibat pengaruh sudut yang sama dengan momen maksimum positif M_u per satuan lebar pada panel pelat.	**R8.7.3.1** Ujung pelat yang tidak dikekang pada sudut pelat dua arah cenderung terangkat saat diberi beban. Jika pengangkatan ini ditahan oleh tepi dinding atau balok, momen lentur akan terjadi pada pelat. Penampang ini membutuhkan tulangan untuk menahan momen ini agar dapat mengendalikan retak. Tulangan diberikan agar lentur pada arah utama dapat digunakan untuk memenuhi persyaratan ini. Lihat Gambar R8.7.3.1.
8.7.3.1.1 Momen terfaktor akibat pengaruh ujung sudut pelat, M_u, dapat dianggap tegak lurus terhadap sumbu diagonal dari ujung sudut pelat bagian atas dan dianggap sejajar terhadap sumbu diagonal dari ujung sudut pelat bagian bawah.	 *OPSI 1*  *OPSI 2* Notes: 1. Berlaku untuk B-1 atau bila B-2 memiliki $\alpha_f > 1,0$ 2. Jarak tulangan maksimum 2*h*, dimana *h* = ketebalan pelat **Gambar R8.7.3.1 – Tulangan pelat sudut**
8.7.3.1.2 Tulangan harus disediakan pada jarak di masing-masing arah dari sudut sama dengan seperlima bentang terpanjang.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.7.3.1.3 Tulangan harus dipasang sejajar sumbu diagonal pada pelat bagian atas dan tegak lurus terhadap sumbu diagonal pelat bagian bawah. Sebagai alternatif, tulangan harus dipasang dalam dua lapis sejajar sisi-sisi pelat pada bagian atas dan bawah pelat.	
8.7.4 *Tulangan lentur pelat nonprategang*	**R8.7.4** *Tulangan lentur pelat nonprategang*
8.7.4.1 *Pemutusan tulangan*	**R8.7.4.1** *Pemutusan tulangan*
8.7.4.1.1 Bila pelat tidak ditumpu oleh balok tepi (*spandrel*), kolom, atau dinding, pengangkuran tulangan tegak lurus terhadap sisi diskontinu harus memenuhi a) dan b): a) Tulangan momen positif harus menerus ke tepi pelat dan mempunyai penanaman, lurus atau kait, paling sedikit 150 mm ke dalam balok tepi, kolom, atau dinding. b) Tulangan momen negatif harus dibengkokkan, dikait, atau diangkur ke dalam balok tepi, kolom, atau dinding, dan harus diteruskan pada muka tumpuan.	**R8.7.4.1.1** dan **R8.7.4.1.2** Momen lentur pada pelat pada balok tepi dapat berbeda-beda cukup besar. Jika balok tepi dibangun menyatu dengan dinding, pelat mencapai terjepit penuh. Tanpa dinding yang menyatu, pelat hanya bisa sebagai tumpuan sederhana, tergantung pada kekakuan torsi dari balok tepi atau tepi pelat. Persyaratan ini menyediakan untuk kondisi-kondisi yang tidak terduga yang biasanya terjadi pada struktur.
8.7.4.1.2 Bila pelat tidak ditumpu oleh balok tepi atau dinding pada tepi diskontinu atau bilamana pelat kantilever melewati tumpuan, pengangkuran tulangan diizinkan dalam pelat tersebut.	
8.7.4.1.3 Untuk pelat tanpa balok, penyaluran tulangan harus sesuai a) hingga c): a) Panjang tulangan harus sekurang-kurangnya sesuai dengan Gambar 8.7.4.1.3a, dan jika pelat berfungsi sebagai komponen struktur utama yang menahan beban lateral, panjang tulangan harus sekurang-kurangnya sesuai dengan hasil analisis. b) Jika bentang yang bersebelahan tidak sama panjang, pernyaluran tulangan momen negatif yang melewati muka tumpuan sesuai Gambar 8.7.4.1.3a harus berdasar pada bentang terpanjang. c) Pembengkokan tulangan diizinkan hanya bila rasio tinggi terhadap bentang	**R8.7.4.1.3** Panjang minimum dan penyaluran tulangan ditunjukkan pada Gambar 8.7.4.1.3a diterapkan untuk pelat dengan proporsi normal yang dapat menahan beban gravitasi. Panjang minimum dan penyaluran ini mungkin tidak cukup untuk pelat tebal dua arah seperti transfer pelat, pelat podium, dan pondasi rakit. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar R8.7.4.1.3b, retak *punching*, yang dapat terjadi pada sudut sekitar 20 derajat, mungkin tidak ditahan oleh tulangan tarik, yang secara substansial mengurangi kekuatan geser *punching*. Adanya tulangan menerus atau panjang minimum penyaluran tulangan pada Gambar 8.7.4.1.3a harus dipertimbangkan untuk pelat dengan rasio ℓ_n/h kurang dari 15. Kemudian, untuk momen yang dihasilkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
memungkinkan pemakaian bengkokan 45 derajat atau kurang.	dari gabungan beban lateral dan gravitasi, panjang dan penyaluran minimum tulangan pada Gambar 8.7.4.1.3a mungkin tidak cukup. Tulangan yang dibengkokkan kadang digunakan dan sulit dipasang dengan benar. Tulangan yang dibengkokkan diizinkan jika memenuhi 8.7.4.1.3(c). Panduan lebih lanjut mengenai penggunaan sistem tulangan yang dibengkokkan dapat dilihat pada 13.4.8 dari ACI 318-1983.

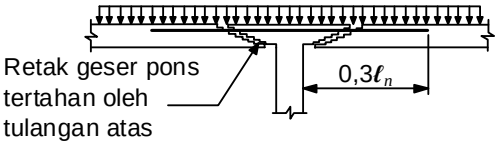


Gambar 8.7.4.1.3a – Panjang penyaluran minimum tulangan ulir pada pelat dua-arah tanpa balok

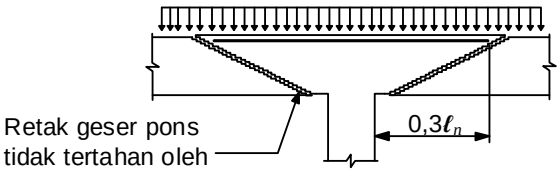
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



(a) Pelat dengan perbandingan ukuran normal



(b) Pelat tebal

Gambar R8.7.4.1.3b – Retak geser *punching* pada pelat dengan penyaluran tulangan sesuai 8.7.4.1.3a

8.7.4.2 *Integritas struktur*

R8.7.4.2 *Integritas struktur*

8.7.4.2.1 Semua batang ulir atau kawat ulir bawah di dalam lajur kolom, pada masing-masing arah, harus menerus atau disambung dengan sambungan mekanis penuh, dilas penuh, atau sambungan tarik kelas B. Sambungan harus dipasang sesuai dengan Gambar 8.7.4.1.3a.

8.7.4.2.2 Paling sedikit dua batang tulangan atau kawat bawah lajur kolom pada masing-masing arah harus melewati di dalam daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom dan harus diangkur pada tumpuan eksterior.

R8.7.4.2.1 dan R8.7.4.2.2 Tulangan bawah lajur kolom menerus memberikan pelat sisa kemampuan untuk membentang ke tumpuan yang berdekatan jika ada satu tumpuan yang rusak. Dua tulangan bawah lajur kolom menerus atau kawat yang melalui kolom dapat disebut "tulangan integritas," dan disediakan untuk memberi pelat kekuatan setelah kegagalan geser punching tunggal (*single punching shear)* pada sebuah tumpuan tunggal (Mitchell dan Cook 1984). *Joint* ACI-ASCE *Committee* 352 (ACI 352.1R) memberikan panduan lebih lanjut mengenai desain tulangan integritas dalam sambungan pelat-kolom. Ketentuan serupa untuk pelat dengan tendon tanpa lekatan disediakan pada 8.7.5.6.

8.7.4.2.3 Pada pelat dengan kepala geser bilamana tidak praktis untuk meneruskan batang tulangan bawah yang disyaratkan oleh 8.7.4.2.2 melalui kolom, paling sedikit dua batang tulangan atau kawat bawah pada masing-masing arah harus melewati kepala geser sedekat mungkin ke kolom dan menerus, atau disambung dengan sambungan mekanis penuh, dilas penuh, atau sambungan tarik kelas B. Pada kolom eksterior, tulangan atau kawat harus diangkur pada kepala geser.

R8.7.4.2.3 Ketentuan ini memerlukan tulangan integritas yang sama seperti untuk pelat dua arah tanpa balok lainnya untuk mencegah terjadinya kegagalan geser *punching* pada tumpuan. Dalam beberapa kasus, harus ada jarak bersih yang memadai sehingga tulangan bawah terlekat bisa melewati kepala geser dan melalui kolom. Ketika jarak kepala geser tidak memadai, tulangan bawah harus melewati lubang di lengan kepala geser atau di sekeliling perimeter gelang angkat (*lifting collar*). Kepala geser harus dijaga serendah mungkin di pelat untuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	meningkatkan efektivitas kepala geser tersebut.
8.7.5 *Tulangan lentur pelat prategang*	**R8.7.5** *Tulangan lentur pelat prategang*
8.7.5.1 Tendon eksternal harus dilekatkan pada komponen struktur sehingga mampu mempertahankan eksentrisitas yang ditetapkan antara tendon dan titik berat beton pada semua rentang lendutan komponen struktur yang diantisipasi.	
8.7.5.2 Jika tulangan ulir longitudinal terlekat diperlukan untuk memenuhi kekuatan lentur atau untuk kondisi tegangan tarik sesuai dengan Pers. (8.6.2.3 (b)), syarat pendetailan pada 7.7.3 harus dipenuhi.	**R8.7.5.2** Tulangan terlekat harus diangkur secukupnya untuk mengembangkan kekuatan yang dibutuhkan untuk menahan beban terfaktor. Persyaratan 7.7.3 dimaksudkan untuk memberikan pengangkuran untuk kekuatan tarik atau tekan yang terjadi pada tulangan terlekat oleh lentur akibat beban terfaktor sesuai 22.3.2, atau dengan tegangan tarik pada beban layan sesuai Pers. (8.6.2.3 (b)).
8.7.5.3 Tulangan longitudinal terlekat yang diperlukan oleh Pers. (8.6.2.3 (c)) harus dipasang di bagian atas pelat, dan harus sesuai a) hingga c): a) Tulangan harus didistribusikan sejarak $1{,}5h$ di luar muka tumpuan kolom yang berseberangan. b) Paling tidak empat tulangan ulir, kawat ulir, atau *strand* terlekat harus disediakan di setiap arah. c) Spasi maksimum s antara tulangan longitudinal terlekat tidak boleh melebihi 300 mm.	
8.7.5.4 *Pemutusan tulangan prategang*	
8.7.5.4.1 Area pengangkuran pascatarik harus didesain dan didetailkan sesuai 25.9.	
8.7.5.4.2 Angkur dan *coupler* pascatarik harus didesain dan didetailkan sesuai 25.8.	
8.7.5.5 *Pemutusan tulangan ulir pelat dengan tendon tanpa lekatan*	**R8.7.5.5** *Pemutusan tulangan ulir pelat dengan tendon tanpa lekatan*
8.7.5.5.1 Panjang tulangan ulir yang disyaratkan oleh 8.6.2.3 harus sesuai a) dan b):	**R8.7.5.5.1** Panjang minimum yang diberikan untuk tulangan terlekat yang disyaratkan sesuai 8.6.2.3, tetapi tidak diperlukan untuk kekuatan lentur sesuai 22.3.2. Penelitian (Odello dan Mehta 1967)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Di area momen positif, panjang tulangan harus sekurang-kurangnya $\ell_n/3$ dan dipusatkan di area tersebut. b) Di area momen negatif, tulangan harus menerus sekurang-kurangnya $\ell_n/6$ pada setiap sisi muka tumpuan.	pada bentangan menerus menunjukkan panjang minimum ini menunjukkan perilaku yang cukup baik pada beban layan dan kondisi beban terfaktor.
8.7.5.6 *Integritas struktur*	**R8.7.5.6** *Integritas struktur*
8.7.5.6.1 Kecuali diizinkan dalam 8.7.5.6.3, paling sedikit dua tendon dengan diameter 12,7 mm atau *strand* yang lebih besar harus dipasang di setiap arah kolom sesuai a) atau b): a) Tendon harus melewati daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom. b) Tendon harus diangkur dalam daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom, dan angkur harus dipasang melewati pusat kolom dan diluar daerah angkur.	**R8.7.5.6.1** Tendon prategang yang melewati *joint* pelat-kolom di lokasi manapun di ketebalan pelat akan menyebabkan pelat tersebut tergantung setelah kegagalan *punching shear*, bila tendon menerus melalui atau terangkur di area yang dibatasi oleh tulangan memanjang kolom dan dicegah dari pencar (*bursting*) melalui permukaan atas pelat (ACI 352.1R).
8.7.5.6.2 Di luar kolom dan muka kepala geser, kedua tendon integritas struktur yang disyaratkan oleh 8.7.5.6.1 harus melewati setiap tendon ortogonal dalam bentang yang bersebelahan.	**R8.7.5.6.2** Di antara kolom atau muka kepala geser, tendon integritas struktural harus melewati bagian bawah tendon ortogonal dari bentang yang berdekatan sehingga gerakan vertikal tendon integritas ditahan oleh tendon ortogonal. Bilamana tendon didistribusikan dalam satu arah dan disatukan dalam arah ortogonal, persyaratan ini dapat dipenuhi dengan terlebih dahulu menempatkan tendon integritas untuk arah tendon yang terdistribusi dan kemudian menempatkan tendon yang disatukan. Dimana tendon didistribusikan ke dua arah, penganyaman tendon diperlukan dan penggunaan 8.7.5.6.3 mungkin menjadi pendekatan yang lebih mudah.
8.7.5.6.3 Pelat dengan tendon yang tidak memenuhi 8.7.5.6.1 dapat digunakan jika tulangan ulir bawah terlekat disediakan di setiap arah sesuai 8.7.5.6.3.1 hingga 8.7.5.6.3.3.	**R8.7.5.6.3** Pada beberapa pelat prategang, dengan posisi tendon yang terbatas menjadi sulit untuk menyediakan tendon integritas struktur sesuai 8.7.5.6.1. Dalam situasi seperti itu, tendon integritas struktural dapat digantikan oleh tulangan ulir sisi bawah (ACI 352.1R).
8.7.5.6.3.1 Tulangan ulir bawah minimum A_s pada setiap arah harus yang terbesar dari a) dan b):	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

a) $A_s = \frac{0{,}37\sqrt{f'_c}\, b_w d}{f_y}$ (8.7.5.6.3.1a)

b) $A_s = \frac{2{,}1 b_w d}{f_y}$ (8.7.5.6.3.1b)

dimana b_w adalah lebar muka kolom yang dilewati tulangan.

8.7.5.6.3.2 Tulangan ulir bawah yang dihitung pada 8.7.5.6.3.1 harus melewati daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom dan harus diangkurkan pada tumpuan bagian luar.

8.7.5.6.3.3 Tulangan ulir bawah harus diangkurkan untuk mencapai f_y melewati kolom atau muka kepala geser.

8.7.6 *Tulangan geser - sengkang*

8.7.6.1 Sengkang kaki tunggal, U-sederhana, U-jamak, dan sengkang tertutup diizinkan sebagai tulangan geser.

8.7.6.2 Pengangkuran dan geometri sengkang harus sesuai 25.7.1.

8.7.6.3 Jika sengkang disediakan, lokasi dan spasi harus sesuai Tabel 8.7.6.3.

Tabel 8.7.6.3 – Batas lokasi dan spasi sengkang pertama

Arah pengukuran	Deskripsi pengukuran	Jarak atau spasi maksimum, mm
Tegak lurus dengan muka kolom	Jarak dari muka kolom ke sengkang pertama	$d/2$
	Spasi antar sengkang	$d/2$
Sejajar dengan muka kolom	Spasi antara kaki vertikal sengkang	$2d$

PENJELASAN

R8.7.6 *Tulangan geser - sengkang* – Penelitian (Hawkins 1974; Brom 1990; Yamada et al 1991; Hawkins et al. 1975; ACI 421.1R) telah menunjukkan bahwa tulangan geser yang terdiri dari tulangan atau kawat yang terangkur dengan baik dan *satu-* atau *banyak-* kaki sengkang, atau sengkang tertutup, dapat meningkatkan tahanan geser punching (*punching shear)* pelat. Batasan jarak yang diberikan pada 8.7.6.3 sesuai dengan detail tulangan geser pelat menjadi lebih efektif. Pasal 25.7.1 memberikan persyaratan pengangkuran untuk tulangan geser tipe sengkang yang juga harus diterapkan pada tulangan atau kawat yang digunakan sebagai tulangan geser pelat. Adalah penting bahwa tulangan geser ini terikat dengan tulangan longitudinal pada sisi atas dan bawah pelat, seperti lebih detail ditunjukkan pada Gambar R8.7.6 a) hingga c). Pengangkuran tulangan geser sesuai persyaratan 25.7.1 sulit diaplikasikan pada pelat yang lebih tipis dari 250 mm. Tulangan geser yang terdiri dari tulangan vertikal yang secara mekanis terangkur pada setiap ujungnya oleh pelat atau kepala yang mampu mencapai kekuatan leleh tulangan yang telah berhasil digunakan (ACI 421.1R).

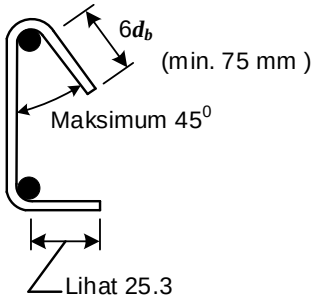
Dalam sambungan pelat-kolom dimana transfer momen diabaikan, tulangan geser harus simetris terhadap sentroid dari penampang kritis (Gambar R8.7.6d).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

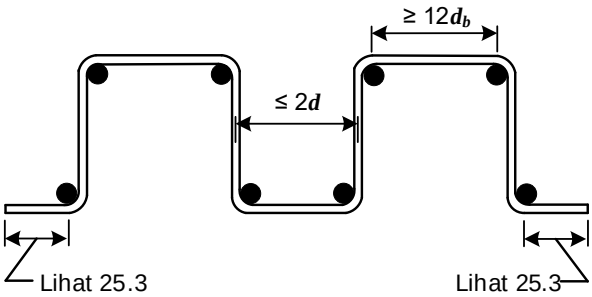
STANDAR | **PENJELASAN**

Batasan spasi ditentukan pada 8.7.6.3 dan juga ditunjukkan pada Gambar R8.7.6d dan e.

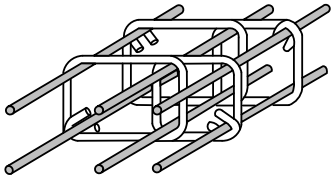
Pada tepi kolom atau untuk sambungan interior dimana transfer momen signifikan, sengkang tipe tertutup direkomendasikan sebisa mungkin dalam pola simetris. Meskipun rata-rata tegangan geser pada muka ***AD*** dan ***BC*** untuk kolom eksterior pada Gambar R8.7.6(e) lebih rendah dari pada muka ***AB***, sengkang tipe tertutup dipanjangkan dari muka ***AD*** dan ***BC*** untuk memberikan kekuatan torsi di sepanjang tepi pelat.



(a) sengkang satu kaki atau batang tulangan



(b) sengkang banyak kaki atau batang tulangan



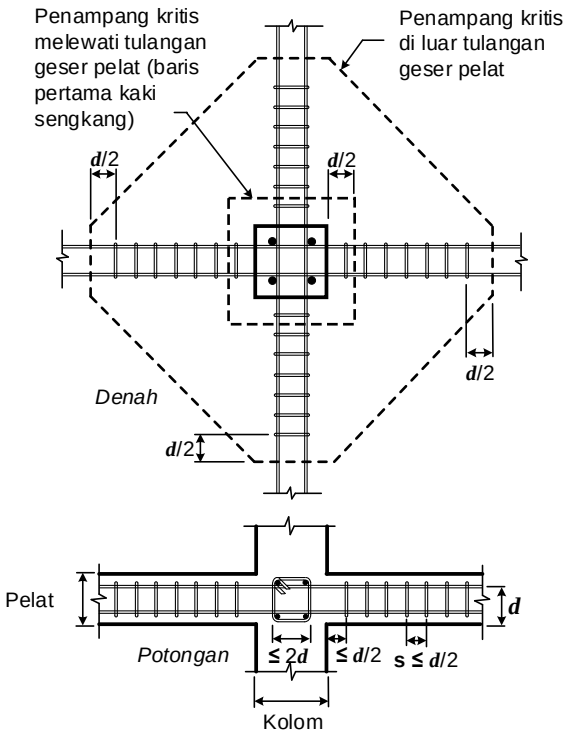
(c) sengkang tertutup

Gambar R.8.7.6(a)-(c) – Sengkang satu- atau banyak- kaki - tipe pelat tulangan geser

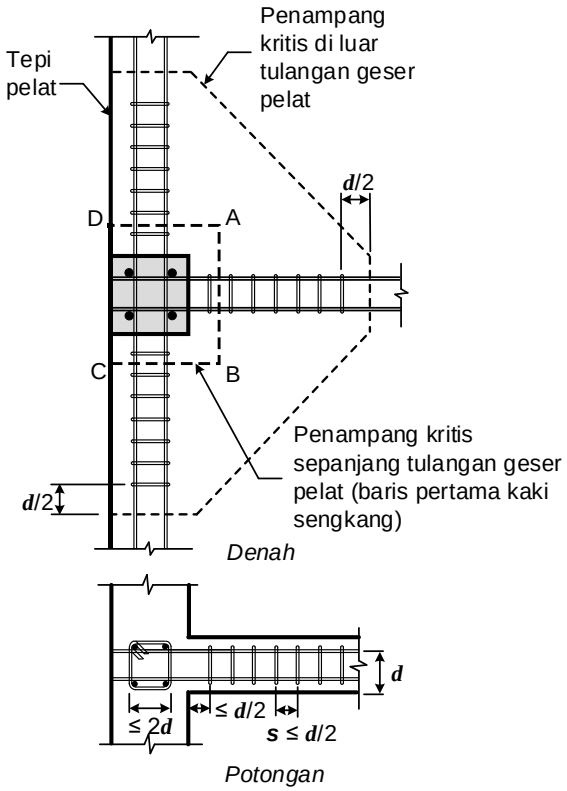
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R8.7.6d – Pengaturan tulangan sengkang geser kolom interior



Gambar R8.7.6e – Pengaturan tulangan sengkang geser kolom tepi

8.7.7 *Tulangan geser-stud berkepala*

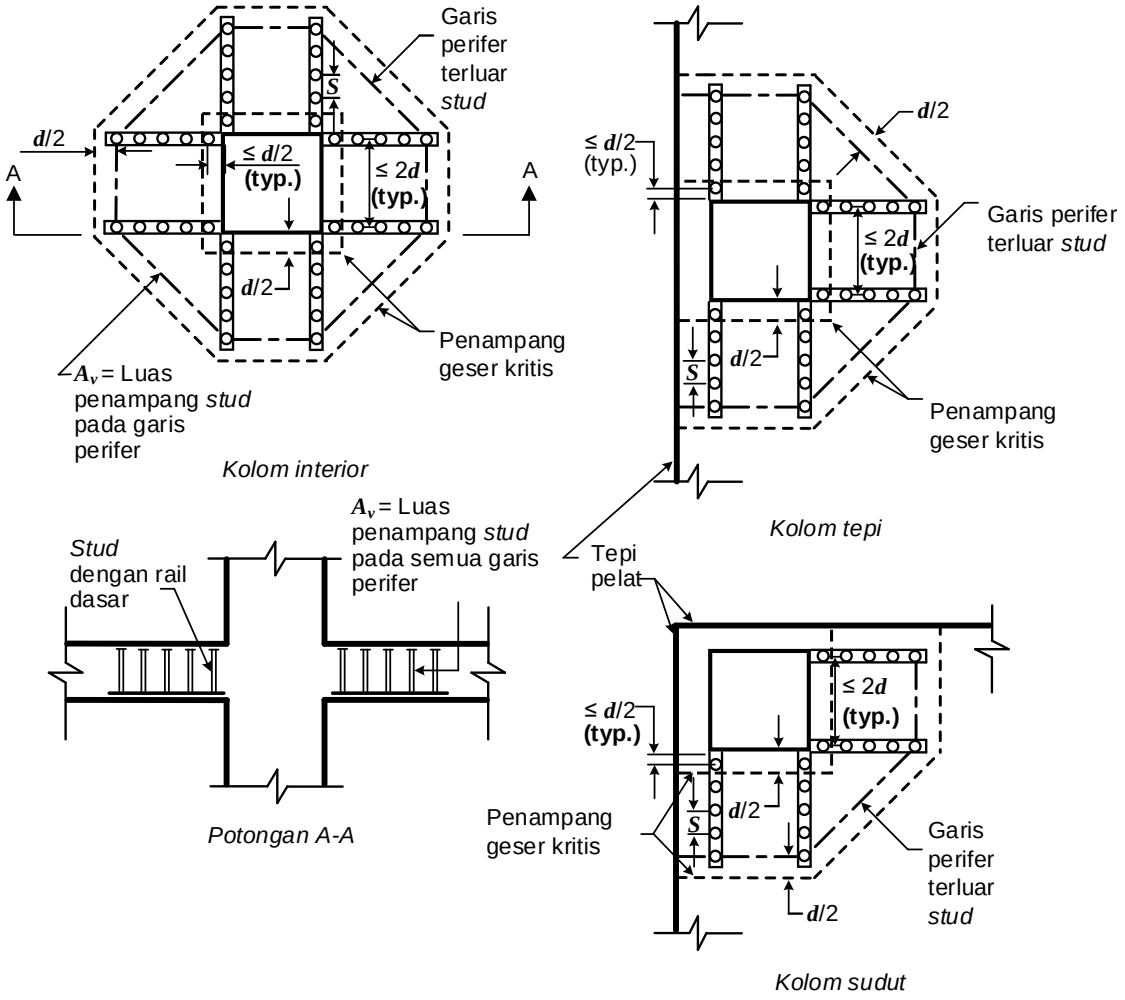
R8.7.7 *Tulangan geser-stud berkepala* – Menggunakan *stud* berkepala sebagai

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.7.7.1 Penggunaan tulangan *stud* berkepala diperbolehkan jika dipasang tegak lurus terhadap bidang pelat.	tulangan geser pada pelat memerlukan diameter *stud* tertentu, jarak *stud*, dan tinggi rakitan untuk keperluan tertentu.
8.7.7.1.1 Tinggi keseluruhan perakitan *stud* geser harus paling sedikit setebal pelat dikurangi dengan penjumlahan a) hingga c): a) Selimut beton di atas tulangan lentur atas b) Selimut beton dari pelat dasar *stud* c) Setengah diameter batang tulangan lentur tarik	Pengujian (ACI 421.1R) menunjukkan bahwa *stud* vertikal yang diangkur secara mekanis sedekat mungkin ke bagian atas dan bawah pelat telah efektif dalam menahan *punching-shear*. Batas tinggi keseluruhan yang ditentukan untuk mencapai tujuan ini sekaligus memberikan toleransi dalam menentukan ketinggiannya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R20.6.1.3.5 Dibandingkan dengan sengkang satu kaki yang dibengkokkan di ujungnya, *stud* berkepala menunjukkan slip yang lebih kecil dan oleh karena itu menghasilkan lebar retak geser yang lebih kecil. Peningkatan kinerja menghasilkan peningkatan batas kekuatan geser dan peningkatan jarak antar garis tepi tulangan stud geser berkepala. Pengaturan khusus tulangan geser *stud* berkepala ditunjukkan pada Gambar R8.7.7. Penampang kritis di luar tulangan geser umumnya memiliki bentuk poligonal. Persamaan untuk menghitung tegangan geser pada bagian tersebut ada pada ACI 421.1R.
8.7.7.1.2 Lokasi tulangan geser *stud* berkepala dan jaraknya harus sesuai Tabel 8.7.7.1.2	**R8.7.7.1.2** Jarak yang ditentukan antara garis keliling tulangan geser dibuktikan dengan eksperimen (ACI 421.1R). Jarak bersih antara *stud* berkepala harus cukup untuk memungkinkan penempatan tulangan lentur.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**



Gambar R8.7.7 – Tipikal pengaturan tulangan *stud* geser berkepala dan penampang kritis

8.7.7.1.2 Lokasi tulangan geser *stud* berkepala dan jaraknya harus sesuai Tabel 8.7.7.1.2

Tabel 8.7.7.1.2 – Batas lokasi dan spasi *stud* geser

Arah pengukuran	Deskripsi pengukuran	Kondisi		Jarak atau spasi maksimum, mm
Tegak lurus dengan muka kolom	Jarak dari muka kolom ke garis keliling pertama *stud* geser	Semua		$d/2$
	Spasi konstan antara garis keliling *stud* geser	Pelat nonprategang dengan	$v_u \le \phi 0{,}5\sqrt{f_c'}$	$3d/4$
		Pelat non prategang dengan	$v_u > \phi 0{,}5\sqrt{f_c'}$	$d/2$
		Pelat prategang memenuhi 22.6.5.4		$3d/4$
Sejajar dengan muka kolom	Spasi antara *stud* geser yang bersebelahan di sekeliling garis terdekat muka	Semua		$2d$

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR		PENJELASAN	
	kolom		

8.8 - Sistem pelat berusuk dua arah nonprategang

8.8.1. *Umum*

8.8.1.1 Konstruksi pelat berusuk dua arah nonprategang terdiri dari kombinasi monolit dengan jarak rusuk beraturan dan pelat atas yang didesain untuk bentang di dua arah ortogonal.

8.8.1.2 Lebar rusuk sekurang-kurangnya 100 mm pada setiap tempat di seluruh tingginya.

8.8.1.3 Tebal keseluruhan rusuk tidak boleh melebihi 3,5 kali lebar minimum.

8.8.1.4 Spasi bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 750 mm.

8.8.1.5 V_c diizinkan untuk diambil 1,1 kali dari nilai terhitung pada 22.5.

8.8.1.6 Untuk integritas struktur, sekurang-kurangnya satu tulangan bawah pada tiap rusuk harus menerus dan harus diangkur untuk mencapai nilai f_y pada muka tumpuan.

R.8.8 - Sistem pelat berusuk dua arah nonprategang

R8.8.1 *Umum* – Batasan empiris yang ditetapkan untuk lantai pelat berusuk lantai beton bertulang tanpa prategang didasarkan pada keberhasilan kinerja sistem konstruksi pelat berusuk standar. Untuk konstruksi balok prategang, pasal ini dapat digunakan sebagai panduan.

R8.8.1.4 Ketentuan batas jarak maksimum rusuk diperlukan karena peraturan mengizinkan kuat geser yang lebih tinggi dan selimut beton yang lebih tipis untuk tulangan untuk dimensi rusuk yang relatif kecil dan berulang.

R8.8.1.5 Kenaikan kekuatan geser dibuktikan atas dasar:

a) Memenuhi kinerja dari desain konstruksi pelat berusuk, dimana perhitungan kuat geser yang dispesifikasi lebih tinggi dari aturan sebelumnya, yang memungkinkan tegangan geser yang setara; dan
b) Potensi redistribusi kelebihan beban lokal ke pelat berusuk yang bersebelahan.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

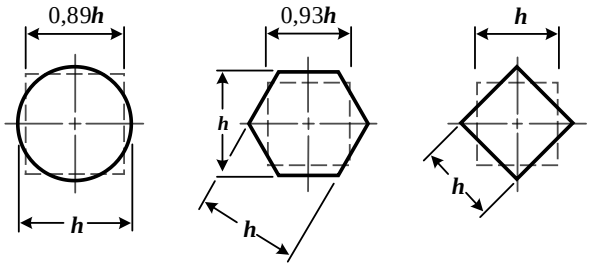
STANDAR	PENJELASAN
8.8.1.7 Luas tulangan yang tegak lurus rusuk harus memenuhi persyaratan kekuatan momen pelat dengan mempertimbangkan beban terpusat, dan sekurang-kurangnya terdapat tulangan susut dan suhu sesuai 24.4.	
8.8.1.8 Konstruksi pelat berusuk dua arah yang tidak memenuhi persyaratan batas pada 8.8.1.1 hingga 8.8.1.4 harus didesain sebagai pelat dan balok.	
8.8.2 *Sistem pelat berusuk dengan pengisi struktur*	
8.8.2.1 Jika tanah liat bakar atau bahan pengisi beton permanen yang mempunyai kekuatan tekan sekurang-kurangnya sama dengan f_c' pelat berusuk yang digunakan, maka 8.8.2.1.1 dan 8.8.2.1.2 harus diterapkan.	
8.8.2.1.1 Ketebalan pelat di atas pengisi harus sekurang-kurangnya yang terbesar dari seperduabelas jarak bersih antar rusuk dan 40 mm.	
8.8.2.1.2 Untuk perhitungan kekuatan geser dan momen negatif, diperbolehkan untuk menyertakan cangkang vertikal pengisi yang bersentuhan dengan rusuk. Bagian pengisi lainnya tidak dimasukkan dalam perhitungan kekuatan.	
8.8.3 *Sistem pelat berusuk dengan bahan pengisi lainnya*	
8.8.3.1 Jika bahan pengisi tidak memenuhi 8.8.2.1 atau digunakan bekisting yang dapat dilepas, ketebalan pelat harus sekurang-kurangnya yang terbesar dari seperduabelas jarak bentang bersih antar rusuk dan 50 mm.	
8.9 - Konstruksi pelat angkat (*lift-slab*)	
8.9.1 Pada pelat yang dibangun dengan metode pelat angkat dimana tidak praktis melewatkan tendon melalui kolom seperti yang disyaratkan 8.7.5.6.1 atau batang tulangan bawah melalui kolom yang disyaratkan 8.7.4.2 atau 8.7.5.6.3, sekurang-kurangnya dua tendon pascatarik atau dua batang tulangan bawah terlekat atau kawat pada masing-masing arah harus melewati gelang angkat (*lifting collar*)	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sedekat mungkin dengan kolom dan kontinu atau disambung dengan sambungan mekanis penuh, las penuh, atau sambungan tarik Kelas B. Pada kolom eksterior, tulangan harus diangkur di gelang angkat.	
8.10 - Metode desain langsung	**R8.10 - Metode desain langsung** Metode desain langsung terdiri dari seperangkat aturan untuk mendistribusikan momen ke bagian pelat dan balok untuk memenuhi persyaratan keselamatan dan persyaratan kemampuan layan yang paling optimal. Tiga langkah mendasar yang tersedia sebagai berikut: 1) Penentuan momen statis terfaktor total (8.10.3) 2) Distribusi dari momen statis terfaktor total ke bagian negatif dan positif (8.10.4) 3) Distribusi momen negatif dan positif terfaktor pada jalur kolom dan jalur tengah dan ke balok, jika ada (8.10.5 dan 8.10.6). Distribusi momen ke jalur kolom dan jalur tengah juga digunakan dalam metode rangka ekuivalen (8.11)
8.10.1 *Umum*	**R8.10.1** *Umum*
8.10.1.1 Pelat dua arah yang memenuhi batasan pada 8.10.2. diizinkan untuk didesain sesuai dengan pasal berikut.	**R.8.10.1.1** Metode desain langsung dikembangkan dari pertimbangan prosedur teoritis untuk penentuan momen dalam pelat dengan dan tanpa balok, persyaratan untuk desain dan prosedur konstruksi yang sederhana, dan asumsi yang disediakan oleh kinerja sistem pelat. Akibatnya, sistem pelat yang didesain menggunakan metode desain langsung harus memenuhi batasan-batasan pada 8.10.2.
8.10.1.2 Variasi batasan-batasan 8.10.2 diizinkan jika ditunjukkan secara analisis bahwa keseimbangan dan kompatibilitas geometrik dipenuhi, kekuatan desain pada setiap penampang sekurang-kurangnya sama dengan kekuatan perlu, dan kondisi layan, termasuk batas lendutan dipenuhi.	**R8.10.1.2** Metode desain langsung diizinkan untuk digunakan bahkan jika struktur tidak memenuhi batasan dalam 8.10.2, jika dapat ditunjukkan oleh analisis bahwa batasan tertentu tidak berlaku untuk struktur tersebut. Untuk sistem pelat yang mendukung beban tidak bergerak, seperti sebuah reservoir air di mana beban terdistribusi pada semua panel sama, batasan beban hidup pada 8.10.2.6 tidak perlu dipenuhi.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.10.1.3 Tumpuan berbentuk bundar atau poligon beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan persegi dengan luas yang sama.	**R8.10.1.3** Jika sebuah elemen tumpuan tidak memiliki penampang persegi panjang atau jika salah satu sisi persegi tidak sejajar dengan bentang, harus diperlakukan sebagai tumpuan persegi dengan luas yang sama, seperti yang digambarkan dalam Gambar R8.10.1.3.



Gambar R8.10.1.3 – Contoh penampang bujursangkar ekuivalen untuk komponen struktur tumpuan

8.10.2 *Batasan penggunaan metode desain langsung*	**R8.10.2** *Batasan penggunaan metode desain langsung*
8.10.2.1 Sedikitnya harus terdapat tiga bentang menerus dalam masing-masing arah.	**R8.10.2.1** Alasan utama adanya batasan ini adalah besarnya momen negatif di tumpuan interior pada sebuah struktur dengan hanya dua bentang menerus. Aturan-aturan yang diberikan untuk metode desain langsung berasumsi bahwa sistem pelat di penampang pertama momen negatif interior adalah tidak dijepit terhadap rotasi atau tidak kontinu.
8.10.2.2 Panjang bentang berurutan yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam masing-masing arah harus tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang terpanjang.	**R8.10.2.2** Batasan ini berkaitan dengan kemungkinan terjadinya momen negatif yang melampaui titik di mana tulangan momen negatif dihentikan, seperti yang dinyatakan dalam Gambar 8.7.4.1.3a.
8.10.2.3 Panel harus berbentuk persegi, dengan rasio dimensi terpanjang terhadap dimensi terpendek yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan, tidak melebihi 2.	**R8.10.2.3** Jika rasio dari dua bentang (bentang panjang/bentang pendek) suatu panel melebihi 2, pelat menahan momen yang terjadi pada bentang yang lebih pendek, sehingga dapat dikategorikan sebagai pelat satu arah.
8.10.2.4 Posisi kolom boleh menyimpang tidak lebih dari 10 % dari bentang dari arah pergeseran masing-masing sumbu di antara titik pusat kolom yang berurutan.	**R8.10.2.4** Posisi kolom dapat bergeser dalam batas-batas tertentu. Batas atas dari pergeseran total kumulatif dapat mencapai 20 % dari bentangnya.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.10.2.5 Semua beban yang diperhitungkan hanya akibat beban gravitasi dan terdistribusi merata di seluruh panel.	**R8.10.2.5** Metode desain langsung didasarkan pada pengujian (Jirsa et al. 1969) untuk beban gravitasi terdistribusi merata dan hasil reaksi kolom ditentukan oleh perilaku statik. Beban lateral, seperti angin atau yang disebabkan oleh gempa bumi, memerlukan analisis rangka. Pondasi rakit tipe terbalik (*Inverted foundation mats*) didesain sebagai pelat dua arah (13.3.4) termasuk beban kolom. Oleh karena itu, walaupun gaya reaksi tanah dianggap seragam, analisis rangka tetap dilakukan.
8.10.2.6 Beban hidup tak terfaktor tidak boleh melebihi dua kali beban mati tak terfaktor.	**R8.10.2.6** Pada kebanyakan sistem pelat, rasio beban hidup terhadap beban mati akan kurang dari 2 dan tidak diperlukan untuk memeriksa pengaruh dari pola pembebanan.
8.10.2.7 Untuk panel dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, Pers. (8.10.2.7a) harus dipenuhi untuk balok dalam dua arah tegak lurus. $$0{,}2 \le \frac{\alpha_{f1}\ell_2^2}{\alpha_{f2}\ell_1^2} \le 5{,}0 \qquad (8.10.2.7a)$$ dimana $\boldsymbol{\alpha_{f1}}$ dan $\boldsymbol{\alpha_{f2}}$ dihitung dengan: $$\alpha_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s} \qquad (8.10.2.7b)$$	**R8.10.2.7** Distribusi elastis dari momen akan berbeda cukup besar dari yang diasumsikan pada metode desain langsung kecuali syarat kekakuan terpenuhi.
8.10.3 *Momen statis terfaktor total untuk suatu bentang*	**R8.10.3** *Momen statis terfaktor total untuk suatu bentang*
8.10.3.1 Momen statis terfaktor total $\boldsymbol{M_o}$ untuk suatu bentang harus ditentukan pada suatu jalur yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel pada setiap sisi garis pusat tumpuan.	
8.10.3.2 Jumlah absolut momen terfaktor positif dan negatif rata-rata $\boldsymbol{M_u}$ dalam setiap arah tidak boleh kurang dari: $$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \qquad (8.10.3.2)$$	**R8.10.3.2** Pers. (8.10.3.2) mengikuti langsung penurunan (Nichols 1914) dengan asumsi penyederhanaan bahwa reaksi terkonsentrasi sepanjang muka tumpuan yang tegak lurus terhadap bentang yang ditinjau. Secara umum, perlu dihitung momen statis untuk dua panel yang bersebelahan masing-masing setengah bentang mencakup lajur kolom dengan lajur tengah kolom sepanjang sisinya.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

8.10.3.2.1 Pada Pers. (8.10.3.2), ℓ_n adalah jarak bentang bersih dalam arah momen-momen yang diperhitungkan, harus menerus dari muka ke muka kolom, kepala kolom, *bracket*, atau dinding, tidak boleh kurang dari $0{,}65\ell_1$.

8.10.3.2.2 Pada Pers. (8.10.3.2), jika bentang transversal panel pada masing-masing garis pusat tumpuan bervariasi, ℓ_2 harus diambil sebagai rata-rata dari bentang transversal yang bersebelahan.

8.10.3.2.3 Pada Pers. (8.10.3.2), jika bentang yang bersebelahan dan yang sejajar terhadap tepi pelat yang ditinjau, jarak dari tepi ke garis pusat panel dipakai untuk menggantikan ℓ_2.

8.10.4 *Distribusi momen statis total terfaktor*

8.10.4.1 Pada bentang interior, M_o harus didistribusikan sebagai berikut: $0{,}65M_o$ ke momen negatif dan $0{,}35M_o$ ke momen positif.

8.10.4.2 Pada bentang ujung, M_o harus didistribusikan sesuai Tabel 8.10.4.2.

Tabel 8.10.4.2 – Koefisien distribusi untuk bentang ujung

	Tepi eksterior tak ter-kekang	Pelat dengan balok antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok antara tumpuan interior		Tepi eksterior ter-kekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

PENJELASAN

R8.10.4 *Distribusi momen statis total terfaktor*

R8.10.4.2 Koefisien momen untuk ujung bentang didasarkan pada kekakuan kolom ekuivalen dari Corley et al. (1961), Jirsa et al. (1963)dan Corley and Jirsa (1970). Koefisien untuk ujung bentang tak terkekang akan digunakan, misalnya, jika pelat hanya ditumpu secara sederhana pada dinding bata atau dinding beton. Untuk ujung yang sepenuhnya terkekang akan berlaku jika pelat dibangun satu kesatuan dengan dinding beton yang memiliki kekakuan lentur yang besar dibandingkan dengan pelat memiliki rotasi pelat yang kecil terjadi pada sambungan pelat dan dinding.

Selain ujung bentang lain yang tak terkekang atau sepenuhnya terkekang, Koefisien dalam tabel dipilih untuk menjadi batasan atas untuk momen positif dan negatif interior. Hasilnya, momen negatif eksterior biasanya lebih dekat dengan batas bawah. Kekuatan momen negatif eksterior untuk kebanyakan sistem pelat ditentukan oleh tulangan minimum untuk kontrol retak. Koefisien di dalam tabel telah disesuaikan sehingga jumlah mutlak dari

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	momen positif dan rata-rata momen adalah sama dengan M_o. Dalam peraturan ACI 1977, faktor distribusi didefinisikan sebagai fungsi dari rasio kekakuan tumpuan eksterior yang digunakan untuk memproporsikan momen statis total M_o di ujung bentang. Pendekatan ini dapat digunakan pada nilai-nilai yang sesuai dengan ketentuan ini.
8.10.4.3 Modifikasi momen positif dan momen negatif terfaktor diizinkan hingga 10 persen jika total momen statis terfaktor untuk panel, M_o, dalam arah yang ditinjau tidak kurang dari yang disyaratkan pada Pers. (8.10.3.2). Redistribusi momen seperti pada 6.6.5 tidak diizinkan.	**R8.10.4.3** Ketentuan ini memperbolehkan pengurangan hingga 10 persen pada momen negatif atau positif terfaktor, dihitung sesuai 8.10.4, dengan syarat total momen statis untuk sebuah panel dengan arah yang ditinjau tidak kurang dari M_o sesuai Pers. (8.10.3.2). Hal ini dimaksudkan untuk membatasi perilaku inelastik dan redistribusi momen yang dapat terjadi pada pelat dianalisis dengan metode desain langsung. Distribusi momen yang diizinkan oleh 6.6.5 tidak diizinkan digunakan bila nilai momen menggunakan metode pendekatan.
8.10.4.4 Penampang kritis untuk momen terfaktor negatif M_u harus berada pada muka tumpuan persegi.	
8.10.4.5 Momen negatif M_u harus yang terbesar dari dua momen negatif interior M_u yang dihitung dari bentang-bentang yang merangka pada tumpuan yang sama kecuali analisis dilakukan untuk mendistribusikan momen tidak seimbang sesuai dengan kekakuan elemen yang bersebelahan.	**R8.10.4.5** Perbedaan momen dalam pelat pada kedua sisi kolom atau jenis tumpuan yang lain harus dimasukkan dalam desain tumpuan tersebut. Jika analisis dibuat untuk distribusi momen yang tidak seimbang, maka kekakuan lentur dapat diperoleh berdasarkan luas bruto penampang beton pada komponen yang terlibat.
8.10.4.6 Balok tepi atau bagian tepi pelat harus didesain untuk menahan torsi akibat momen negatif eksterior M_u.	**R8.10.4.6** Momen yang tegak lurus dan di ujung dari struktur pelat harus ditransferkan ke kolom tumpuan atau dinding. Tegangan torsi yang disebabkan oleh momen pada pelat harus diperiksa.
8.10.5 *Momen terfaktor di lajur kolom* **8.10.5.1** Lajur kolom harus menahan bagian dari momen negatif interior M_u sesuai Tabel 8.10.5.1.	**R8.10.5** *Momen terfaktor di lajur kolom* – Aturan-aturan yang diberikan untuk menentukan momen pada lajur kolom, balok, dan lajur tengah didasarkan pada studi (Gamble, 1972) pelat elastik linear yang mengalami momen dengan kekakuan

Tabel 8.10.5.1 – Bagian momen negatif interior M_u di lajur kolom

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

$\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$	ℓ_2/ℓ_1		
	0,5	**1,0**	**2,0**
0	0,75	0,75	0,75
≥1,0	0,90	0,75	0,45

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan

balok yang berbeda yang terjadi dengan koefisien momen telah berhasil digunakan. Untuk tujuan menghasilkan momen di lajur tengah kolom bersebelahan dengan ujung tumpuan dinding, ℓ_n di Pers. (8.10.3.2) dapat diasumsikan sama dengan kolom bersebelahan yang sejajar dengan bentang kolom, dan dinding dapat dipertimbangkan sebagai balok yang memiliki momen inersia, I_b tak berhingga.

8.10.5.2 Lajur kolom harus menahan sebagian dari momen eksterior negatif M_u sesuai Tabel 8.10.5.2.

R8.10.5.2 Pengaruh dari parameter kekakuan torsi β_t diterapkan pada semua momen negatif terfaktor eksterior terhadap lajur kolom, dan tidak untuk lajur tengah, kecuali kekakuan torsi balok relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kekakuan lentur pada tumpuan pelat. Dalam definisi β_t, modulus geser dapat diambil sebagai $E_{cb}/2$.

Ketika dinding-dinding yang digunakan sebagai tumpuan sepanjang garis kolom, dinding tersebut dapat dianggap sebagai balok yang sangat kaku dengan nilai $\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$ lebih besar dari 1. Ketika tumpuan eksterior terdiri dari dinding tegak lurus terhadap arah momen yang akan dihitung, β_t dapat bernilai nol jika dinding tembok tersebut tidak memiliki tahanan torsi, dan β_t dapat bernilai 2,5 untuk dinding yang memiliki tahanan torsi yang baik dimana didinding tersebut monolit dengan pelat.

Tabel 8.10.5.2 – Bagian momen negatif eksterior M_u di lajur kolom

$\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$	β_t	ℓ_2/ℓ_1		
		0,5	**1,0**	**2,0**
0	0	1,0	1,0	1,0
	≥ 2,5	0,75	0,75	0,75
≥ 1,0	0	1,0	1,0	1,0
	≥ 2,5	0,90	0,75	0,45

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan, dimana β_t dihitung dengan Pers. (8.10.5.2a), dan *C* dihitung dengan Pers. (8.10.5.2b).

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} \qquad (8.10.5.2.a)$$

$$C = \sum\left(1-0{,}63\frac{x}{y}\right)\frac{x^3y}{3} \qquad (8.10.5.2.b)$$

8.10.5.3 Untuk penampang T dan L, pehitungan konstanta C pada Pers. (8.10.5.2b) dilakukan dengan membagi penampang menjadi bagian-bagian persegi terpisah, seperti didefinisikan dalam 8.4.1.8, dan menjumlahkan nilai-nilai C untuk setiap bagiannya.

8.10.5.4 Bila lebar kolom atau dinding sekurang-kurangnya $(3/4)\ell_2$, momen negatif M_u harus didistribusikan merata selebar ℓ_2.

8.10.5.5 Lajur kolom harus menahan bagian dari momen positif interior M_u sesuai Tabel 8.10.5.5.

Tabel 8.10.5.5 – Bagian momen positif M_u di lajur kolom

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

$\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$	ℓ_2/ℓ_1		
	0,5	**1,0**	**2,0**
0	0,60	0,60	0,60
≥1,0	0,90	0,75	0,45

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan.

8.10.5.6 Untuk pelat dengan balok di antara tumpuan, bagian pelat dari lajur kolom harus menahan momen lajur kolom yang tidak ditahan oleh balok.

8.10.5.7 *Momen terfaktor balok*

R8.10.5.7 *Momen terfaktor balok* – Beban yang diberikan secara langsung ke balok tambahan dari beban mati terdistribusi merata di seluruh pelat; seperti langit-langit, *finishing* lantai, atau setara dengan beban partisi; dan beban hidup terdistribusi merata. Semua beban ini biasanya sudah dimasukkan ke q_u di Pers. (8.10.3.2). Beban garis diberikan secara langsung ke balok termasuk dinding partisi sepanjang garis tengah balok dan tambahan beban mati dari balok. Beban terpusat termasuk tiang di atas atau di bawah balok. Untuk menentukan beban yang terjadi, hanya beban yang terletak pada lebar batang balok yang dianggap sebagai beban yang terjadi pada balok. Lebar efektif balok yang didefinisikan dalam 8.4.1.8 hanya untuk perhitungan kekuatan dan kekakuan relatif. Beban garis dan beban terpusat yang terletak di pelat sepanjang balok perlu ditentukan pembagian beban untuk pelat dan balok tersebut. Merujuk juga pada R8.10.5.

8.10.5.7.1 Balok di antara tumpuan harus menahan momen lajur kolom M_u sesuai Tabel 8.10.5.7.1.

Tabel 8.10.5.7.1 – Bagian momen lajur kolom M_u pada balok

$\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$	**Koefisien distribusi**
0	0
≥1,0	0,85

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan.

8.10.5.7.2 Sebagai tambahan momen yang telah dihitung sesuai 8.10.5.7.1, balok harus menahan momen yang disebabkan oleh beban terfaktor yang diaplikasikan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
secara langsung pada balok, termasuk berat badan balok yang menjorok di atas dan di bawah pelat.	
8.10.6 *Momen terfaktor pada lajur tengah*	**R8.10.6** *Momen terfaktor pada lajur tengah* – Merujuk pada R8.10.5
8.10.6.1 Bagian momen negatif dan momen positif terfaktor yang tidak ditahan oleh lajur kolom harus dibagi secara proporsional pada setengah lajur tengah yang ditinjau.	
8.10.6.2 Masing-masing lajur tengah harus menahan jumlah momen yang diberikan pada kedua setengah lajur tengahnya.	
8.10.6.3 Lajur tengah yang bersebelahan dan sejajar dengan tepi yang ditumpu oleh dinding harus diproporsikan untuk menahan dua kali momen yang dibagikan pada setengah lajur tengah yang berhubungan dengan baris pertama tumpuan interior.	
8.10.7 *Momen terfaktor pada kolom dan dinding*	**R8.10.7** *Momen terfaktor pada kolom dan dinding* – Desain dan detail tulangan mentransfer momen dari pelat ke ujung kolom penting untuk kinerja dan keamanan slab datar atau pelat datar tanpa balok tepi atau pelat kantilever. Detail desain yang lengkap sangat penting ditunjukkan dalam dokumen konstruksi, seperti konsentrasi tulangan pada kolom dengan spasi yang lebih kecil, atau tulangan tambahan lainnya.
8.10.7.1 Kolom dan dinding yang dibangun secara menyatu dengan sistem pelat harus menahan momen yang diakibatkan oleh beban terfaktor pada sistem pelat.	
8.10.7.2 Pada tumpuan interior, kolom atau dinding di atas dan di bawah pelat harus menahan momen terfaktor yang dihitung dengan Pers. (8.10.7.2) secara langsung sesuai dengan proporsi kekakuannya kecuali jika dilakukan analisis. $M_{sc} = 0,07\left[\left(q_{D_U} + 0,5q_{L_U}\right)\ell_2\ell_n^2 - q_{Du}'\ell_2'\left(\ell_n'\right)^2\right]$ (8.10.7.2)	**R8.10.7.2** Pers. (8.10.7.2) mengacu pada dua bentang bersebelahan, dengan satu bentang lebih panjang daripada yang lain, dengan beban mati ditambah satu setengah beban hidup yang diterapkan pada bentang yang lebih panjang dan hanya beban mati diberikan pada bentang yang lebih pendek.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dimana q_{Du}', ℓ_2', dan ℓ_n' merujuk pada bentang terpendek.	
8.10.7.3 Momen akibat beban gravitasi yang akan ditransfer di antara pelat dan kolom tepi yang sesuai 8.4.2.3 tidak boleh kurang dari $0{,}3M_o$.	**R8.10.7.3** Analisis sistem pelat menunjukkan bahwa kekakuan relatif pelat, balok, dan kolom mempengaruhi jumlah momen yang ditransfer ke tumpuan akibat kondisi beban gravitasi, tetapi selisihnya cukup kecil. Untuk tipikal konfigurasi pelat, batas atas dari nilai-nilai yang diberikan dalam Tabel 8.10.4.2 untuk kondisi tepi tak terkekang dan sepenuhnya terkekang adalah $0{,}3M_o$.
8.10.8 *Geser terfaktor sistem pelat dengan balok*	**R8.10.8** *Geser terfaktor sistem pelat dengan balok* – Daerah tributari untuk menghitung geser pada balok interior ditampilkan dengan arsiran di Gambar 8.10.8.1. Jika kekakuan balok $\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$ kurang dari 1,0, geser pada balok dapat diperoleh dengan interpolasi linier. Dalam kasus tersebut, balok yang merangka ke kolom tidak akan terhitung pada semua gaya geser yang diberikan pada kolom. Gaya geser sisa akan menghasilkan tegangan geser di pelat sekitar kolom yang harus diperiksa dengan cara yang sama seperti pelat datar, sesuai dengan yang dipersyaratkan 8.10.8.3. Pasal 8.10.8.1 dan 8.10.8.2 tidak berlaku untuk perhitungan momen torsi pada balok. Momen ini harus didasarkan perhitungan momen-momen lentur yang terjadi pada sisi-sisi balok.
8.10.8.1 Balok di antara tumpuan harus menahan bagian geser sesuai Tabel 8.10.8.1 yang disebabkan oleh beban terfaktor di luas tributari sesuai Gambar 8.10.8.1.	

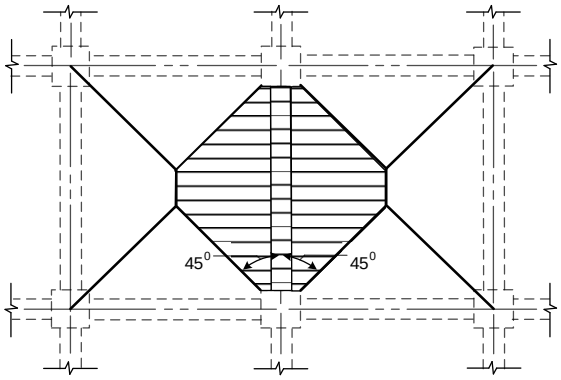
Tabel 8.10.8.1 – Bagian geser yang ditahan oleh balok

$\alpha_{f1}\ell_2/\ell_1$	Koefisien distribusi
0	0
≥1,0	1,0

Catatan: Linear interpolasi akan dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN



Gambar 8.10.8.1 – Luas tributari untuk geser balok interior

8.10.8.2 Sebagai tambahan untuk geser yang dihitung sesuai 8.10.8.1, balok harus menahan geser yang disebabkan oleh beban terfaktor yang diaplikasikan secara langsung pada balok, termasuk berat badan balok yang menjorok di atas dan di bawah pelat.

8.10.8.3 Perhitungan kekuatan geser perlu pelat yang berdasar pada asumsi bahwa beban terdistribusi ke tumpuan balok sesuai 8.10.8.1 diizinkan. Tahanan geser total V_u pada panel harus disediakan.

8.11 - Metode rangka ekuivalen

R8.11 - Metode rangka ekuivalen

Metode rangka ekuivalen melibatkan sistem pelat tiga dimensi yang dibuat menjadi serangkaian rangka dua dimensi yang kemudian dianalisis untuk beban yang bekerja pada bidang rangka tersebut. Momen negatif dan positif yang didapat pada penampang desain kritis didistribusikan ke penampang pelat sesuai 8.10.5 (lajur kolom), 8.10.5.7 (balok), dan 8.10.6 (lajur tengah). Metode rangka ekuivalen didasarkan pada studi yang dilaporkan oleh Corley et al. (1961), Jirsa et al.(1963), dan Corley and Jirsa (1970). Untuk bagian R13.7 dari peraturan ACI 1989 berisi penjelasan yang lebih rinci tentang metode rangka ekuivalen.

8.11.1 *Umum*

8.11.1.1 Semua penampang pelat dan komponen tumpuan pada sistem pelat dua arah yang didesain dengan metode rangka ekuivalen harus menahan momen dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

geser yang didapat dari analisis sesuai 8.11.2 hingga 8.11.6.

8.11.1.2 Beban hidup harus diatur sesuai 6.4.3.

8.11.1.3 Diizinkan untuk memperhitungkan kontribusi kepala kolom logam terhadap kekakuan, tahanan momen dan tahanan geser.

8.11.1.4 Diizinkan untuk mengabaikan perubahan panjang kolom dan pelat akibat tegangan langsung, dan defleksi akibat geser.

8.11.2 *Rangka ekuivalen*

8.11.2.1 Struktur harus dimodelkan dengan rangka ekuivalen pada garis kolom yang diambil pada arah longitudinal dan transversal bangunan.

8.11.2.2 Masing-masing rangka ekuivalen harus tediri dari sebaris kolom atau tumpuan dan lajur pelat-balok yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel pada setiap sisi garis pusat kolom atau tumpuan.

8.11.2.3 Rangka yang bersebelahan dan sejajar terhadap suatu tepi harus dibatasi oleh tepi tersebut dan garis pusat panel sebelahnya.

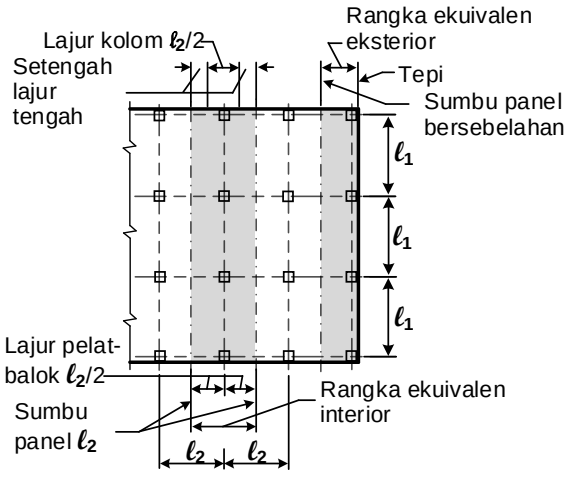
8.11.2.4 Kolom atau tumpuan harus dianggap terhubung dengan lajur pelat-kolom oleh komponen torsi yang arahnya transversal terhadap arah bentang yang ditinjau dimana momennya dihitung dan menerus ke garis-garis pusat panel pada masing-masing sisi kolom.

8.11.2.5 Setiap rangka ekuivalen dapat dianalisis sebagai suatu kesatuan. Sebagai alternatif, untuk beban gravitasi, masing-masing lantai atau atap dapat dianalisis secara terpisah dengan menganggap ujung-ujung jauh kolom terjepit.

8.11.2.6 Bila pelat balok dianalisis secara terpisah, diizinkan untuk menghitung momen pada suatu tumpuan dengan menganggap bahwa pelat-balok terjepit pada tumpuan dua atau lebih panel

R8.11.2 *Rangka ekuivalen* – Penerapan rangka ekuivalen pada suatu struktur diilustrasikan pada Gambar R8.11.2. bangunan tiga dimensi dibagi menjadi serangkaian rangka ekuivalen dua dimensi berpusat pada kolom atau tengah tumpuan dengan setiap rangka yang diteruskan sepanjang ketinggian bangunan. Lebar setiap rangka ekuivalen dibatasi oleh garis tengah dari panel yang bersebelahan. Analisis lengkap dari sistem pelat untuk suatu bangunan terdiri dari menganalisis serangkaian rangka (interior dan eksterior) yang mencakup longitudinal dan transversal bangunan.

Rangka ekuivalen terdiri dari tiga bagian: 1) lajur pelat horizontal, termasuk setiap balok yang membentang ke arah rangka; 2) kolom atau tumpuan vertikal lain, yang memanjang di atas dan di bawah pelat; dan 3) unsur-unsur struktur yang menghasilkan transfer momen antara struktur horizontal dan vertikal.



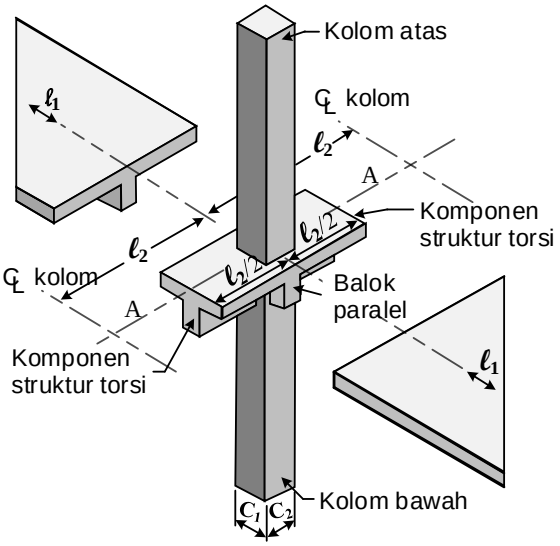
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sebelahnya, selama pelat tersebut menerus melewati tumpuan jepit tersebut.	**Gambar R8.11.2 – Definisi rangka ekuivalen**
8.11.3 *Pelat-balok*	**R8.11.3** *Pelat-balok*
8.11.3.1 Momen inersia pelat-balok dari pusat kolom ke muka kolom, *bracket*, atau kepala kolom harus diasumsikan sama dengan momen inersia pelat-balok pada muka kolom, *bracket*, atau kepala kolom dibagi dengan besaran $(1 - c_2/\ell_2)^2$, dimana c_2 dan ℓ_2 diukur arah transversal terhadap arah bentang dimana momen sedang ditinjau.	**R8.11.3.1** Suatu tumpuan didefinisikan sebagai kolom, kapital, *bracket*, atau dinding. Balok bukan sebuah tumpuan pada rangka ekuivalen.
8.11.3.2 Variasi pada momen inersia sepanjang sumbu pelat-balok harus diperhitungkan.	
8.11.3.3 Diizinkan penggunaan luas penampang bruto beton dalam penentuan momen inersia pelat-balok pada sebarang penampang di luar *joint* atau kepala kolom.	
8.11.4 *Kolom*	**R8.11.4** *Kolom* – Kekakuan kolom didasarkan pada panjang kolom dari pertengahan tengah pelat atas sampai pertengahan tengah pelat bawah. Momen inersia kolom dihitung berdasarkan penampangnya, dengan mempertimbangkan peningkatan kekakuan yang disebabkan oleh kepala kolom, jika ada.
8.11.4.1 Momen inersia kolom dari atas ke bawah *joint* pelat-balok harus dianggap tidak terhingga.	Jika pelat-balok dianalisis secara terpisah untuk beban gravitasi, konsep sebuah kolom ekuivalen, digunakan penggabungan kekakuan pelat-balok dan elemen torsi ke sebuah elemen komposit. Fleksibilitas kolom diubah untuk menghitung fleksibilitas torsi sambungan pelat-kolom yang mengurangi efisiensi perpindahan momen. Kolom ekuivalen terdiri dari kolom yang berada di atas dan di bawah pelat-balok, ditambah elemen torsi di setiap sisi kolom hingga garis tengah dari panel yang bersebelahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R8.11.4.
8.11.4.2 Variasi pada momen inersia sepanjang sumbu kolom harus diperhitungkan.	
8.11.4.3 Diizinkan penggunaan luas penampang bruto beton dalam penentuan momen inersia kolom pada sebarang penampang di luar *joint* atau kepala kolom.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R8.11.4 – Kolom ekuivalen (kolom ditambah komponen struktur torsi)

8.11.5 *Komponen torsi*

8.11.5.1 Komponen-komponen torsi harus dianggap mempunyai penampang konstan (prismatik) pada seluruh panjang komponen tersebut yang terdiri dari yang terbesar dari a), b), dan c):

a) Bagian pelat yang mempunyai lebar sama dengan lebar kolom, *bracket*, atau kepala kolom dalam arah bentang dimana momen akan dihitung.
b) Untuk konstruksi monolit atau komposit penuh, bagian pelat yang ditetapkan dalam a) ditambah bagian balok transversal di atas dan di bawah pelat.
c) Balok transversal sesuai 8.4.1.8.

8.11.5.2 Bila balok-balok merangka ke kolom dalam arah bentang dimana momen dihitung, kekakuan torsi harus dikalikan dengan rasio momen inersia pelat termasuk baloknya dibagi dengan momen inersia pelat tanpa balok tersebut.

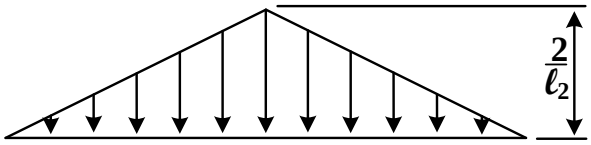
R8.11.5 *Komponen torsi* – Perhitungan kekakuan elemen torsi memerlukan beberapa asumsi penyederhanaan. Jika tidak ada balok merangka ke kolom, proporsi dari pelat sama dengan lebar kolom atau kapital diasumsikan menjadi elemen torsi. Jika sebuah balok merangka ke kolom, diasumsikan sebagai balok-L atau balok-T, dengan flens membentang dari muka balok dengan jarak yang sama dengan balok di atas atau di bawah pelat tetapi tidak lebih dari empat kali ketebalan pelat; merujuk kepada 8.4.1.8. Selain itu, hal ini diasumsikan bahwa tidak adanya rotasi torsi pada balok sepanjang lebar tumpuan.

Penampang komponen yang digunakan untuk menghitung kekakuan torsi dinyatakan oleh 8.11.5.1.

Studi analisis tiga dimensi dari berbagai macam pelat menyarankan bahwa nilai kekakuan torsi dapat diperoleh dengan mengasumsikan distribusi momen sepanjang elemen torsi yang bervariasi linear dari maksimal di tengah-tengah kolom sampai nol di tengah panel. Distribusi momen diamsumsikan sepanjang tengah kolom ditampilkan dalam Gambar. R8.11.5.

Perkiraan nilai kekakuan torsi, berdasarkan hasil dari analisis tiga dimensi pelat (Corley et al. 1961; Jirsa et al. 1963; Corley and Jirsa 1970), diberikan sebagai:

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	$K_t = \sum \frac{9E_{cs}C}{\ell_2\left(1-\frac{c_2}{\ell_2}\right)^3}$
	
	Gambar R8.11.5 – Distribusi momen torsi sepanjang sumbu kolom AA pada gambar R8.11.4
8.11.6 *Momen-momen terfaktor*	**R8.11.6** *Momen-momen terfaktor*
8.11.6.1 Pada tumpuan interior, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor M_u pada kedua lajur kolom dan lajur tengah harus diambil pada muka tumpuan yang dianggap persegi, tetapi tidak lebih jauh dari $0{,}175\ell_1$ dari pusat kolom.	**R8.11.6.1 hingga R8.11.6.4** Pasal standar ini menyesuaikan momen negatif terfaktor ke muka tumpuan. Untuk tumpuan eksterior dengan *bracket* atau kepala kolom, pengaturan yang dilakukan adalah memodifikasi untuk membatasi pengurangan momen negatif. Gambar R8.10.1.3 menggambarkan beberapa tumpuan persegi yang digunakan sebagai muka tumpuan untuk mendesain tumpuan yang tidak berbentuk persegi.
8.11.6.2 Pada tumpuan eksterior tanpa *bracket* atau kepala kolom, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor M_u pada bentang yang tegak lurus terhadap suatu tepi harus diambil di muka komponen penumpu.	
8.11.6.3 Pada tumpuan eksterior dengan *bracket* atau kepala kolom, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor M_u pada bentang yang tegak lurus terhadap suatu tepi harus diambil sejarak dari muka komponen penumpu yang tidak melebihi setengah proyeksi *bracket* atau kepala kolom melewati muka komponen penumpu.	
8.11.6.4 Tumpuan berbentuk bundar atau poligon beraturan harus dianggap sebagai tumpuan persegi dengan luas yang sama untuk lokasi penampang kritis untuk momen desain negatif.	
8.11.6.5 Bila sistem pelat dalam batasan-batasan 8.10.2 dianalisis dengan metode rangka ekuivalen, diizinkan untuk mereduksi momen-momen yang dihasilkan dengan proporsi sedemikian rupa hingga jumlah absolut momen-momen positif dan negatif rata-rata yang digunakan dalam	**R8.11.6.5** Ketentuan ini didasarkan pada prinsip bahwa jika dua metode yang berbeda digunakan untuk mendapatkan jawaban tertentu, standar ini tidak mensyaratkan nilai yang lebih besar dari nilai terkecil yang diizinkan. Dari pengalaman yang ada, momen statis

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
desain tidak perlu melebihi nilai yang didapat dari Pers. (8.10.3.2).	terfaktor total tidak melebihi nilai yang diberikan oleh Pers. (8.10.3.2), sehingga nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk desain jika batasan-batasan yang berlaku terpenuhi.
8.11.6.6 Diizinkan untuk mendistribusikan momen-momen pada panampang-penampang kritis ke lajur kolom, balok, dan lajur tengah sesuai dengan metode desain langsung dalam 8.10.2, yang memberikan bahwa Pers. (8.10.2.7a) terpenuhi.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 9 – BALOK

9.1 - Ruang lingkup

9.1.1 Ketentuan pada pasal ini berlaku untuk desain balok nonprategang dan prategang, termasuk:

a) Balok beton komposit yang dibangun dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sehingga semua komponen memikul beban sebagai satu kesatuan
b) Sistem pelat berusuk sesuai 9.8
c) Balok tinggi sesuai 9.9

R9.1 - Ruang lingkup

R9.1.1 Balok struktur komposit baja-beton tidak dibahas dalam pasal ini. Ketentuan desain untuk balok komposit dijelaskan dalam AISC 360.

9.2 - Umum

9.2.1 *Material*

9.2.1.1 Properti desain beton harus dipilih sesuai Pasal 19.

9.2.1.2 Properti desain tulangan baja harus dipilih sesuai Pasal 20.

9.2.1.3 Persyaratan material, desain, dan pendetailan untuk penanaman dalam beton harus sesuai 20.7.

9.2.2 *Sambungan ke komponen lainnya*

9.2.2.1 Untuk konstruksi cor di tempat, sambungan balok-kolom dan pelat-kolom harus memenuhi Pasal 15.

9.2.2.2 Untuk konstruksi pracetak, sambungan harus memenuhi penyaluran gaya yang dipersyaratkan pada 16.2.

R9.2 - Umum

9.2.3 *Stabilitas*

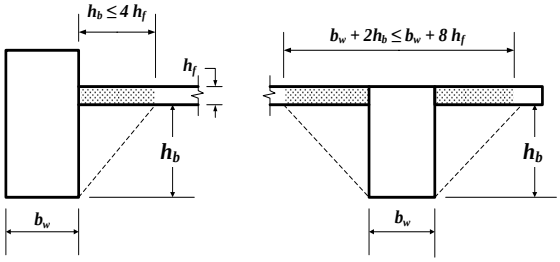
9.2.3.1 Jika balok tidak diberi pengaku (*braced*) lateral secara menerus, a) dan b) harus memenuhi:

a) Spasi pengaku lateral harus tidak melebihi sekurang-kurangnya 50 kali lebar sayap atau muka yang tertekan.
b) Spasi pengaku lateral harus memperhitungkan pengaruh beban eksentris.

R9.2.3 *Stabilitas*

R9.2.3.1 Pengujian-pengujian (Hansell and Winter 1959; Sant and Bletzacker 1961) telah menunjukkan bahwa balok beton bertulang yang tidak ada pengaku lateral, bahkan ketika balok sangat tinggi dan tipis, tidak akan gagal prematur akibat tekuk lateral, asalkan balok dibebani tanpa eksentrisitas lateral yang menyebabkan torsi. Balok yang tidak ditopang secara lateral sering dibebani secara eksentrik atau dengan sedikit kemiringan. Tegangan dan deformasi akibat pembebanan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	tersebut merugikan untuk balok tinggi dan tipis dengan panjang bentang tidak bertumpu. Tumpuan lateral dengan jarak kurang $50b$ diperlukan untuk kondisi pembebanan seperti itu.
9.2.3.2 Pada balok prategang, harus dipertimbangkan tekuk badan dan sayap tipis. Jika terdapat kontak yang berselang antara tulangan prategang dan *ducting* yang melebihi ukuran, komponen tekuk di antara titik kontak harus dipertimbangkan.	**R9.2.3.2** Pada komponen pascatarik, tulangan prategang memiliki kontak yang berselang dengan *ducting* yang besar, komponen tersebut bisa tertekuk akibat gaya prategang aksial, karena komponen tersebut dapat membengkok ke arah lateral sementara tulangan prategang tidak. Jika tulangan prategang kontak secara terus menerus dengan komponen yang sedang ditegangkan atau merupakan bagian tendon tanpa lekatan dengan selubung tidak terlalu besar daripada tulangan prategang, gaya prategang tidak dapat menekuk komponen tersebut.
9.2.4 *Konstruksi balok-T*	**R9.2.4** *Konstruksi balok-T*
9.2.4.1 Pada konstruksi balok-T, sayap dan badan beton harus dibentuk monolit atau dibuat komposit sesuai 16.4.	**R9.2.4.1** Untuk konstruksi monolit atau komposit sepenuhnya, balok adalah termasuk sebagian pelat sebagai sayap.
9.2.4.2 Lebar sayap efektif harus sesuai 6.3.2.	
9.2.4.3 Untuk sayap balok-T dimana tulangan pelat lentur sejajar terhadap sumbu longitudinal balok, tulangan pada sayap yang tegak lurus sumbu longitudinal balok harus sesuai 7.5.2.3.	**R9.2.4.3** Merujuk ke R7.5.2.3.
9.2.4.4 Desain torsi sesuai 22.7, lebar sayap yang digunakan untuk menghitung A_{cp}, A_g dan P_{cp} harus sesuai a) dan b): a) Lebar sayap harus mengikutsertakan bagian pelat pada masing-masing sisi balok memanjang dengan jarak sama dengan proyeksi balok di atas atau di bawah pelat, dipilih yang terbesar, namun tidak lebih besar dari empat kali tebal pelat. b) Sayap harus diabaikan pada kasus dimana parameter A_{cp}^2/p_{cp} untuk penampang solid atau A_g^2/p_{cp} untuk penampang berlubang (*hollow*) yang dihitung untuk balok dengan sayap nilainya kurang dari perhitungan untuk balok yang sama yang mengabaikan sayap.	**R9.2.4.4** Dua contoh penampang desain torsi sesuai Gambar R9.2.4.4.  **Gambar R9.2.4.4 – Contoh bagian dari pelat yang diikutkan dengan balok untuk desain torsi**

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

9.3 - Batas desain

9.3.1 *Tinggi balok minimum*

9.3.1.1 Untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 9.3.1.1, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan 9.3.2 terpenuhi.

Tabel 9.3.1.1 – Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi perlekatan	Minimum h[1]
Perlekatan sederhana	$\ell/16$
Menerus satu sisi	$\ell/18{,}5$
Menerus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

[1] Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3, sebagaimana mestinya.

9.3.1.1.1 Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 9.3.1.1 harus dikalikan dengan $(0{,}4 + f_y / 700)$.

9.3.1.1.2 Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m^3, persamaan pada Tabel 9.3.1.1 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari a) dan b):

a) $1{,}65 - 0{,}0003 w_c$
b) $1{,}09$

9.3.1.1.3 Untuk balok komposit nonprategang yang terbuat dari kombinasi beton ringan dan normal, ditopang saat konstruksi, dan ketika beton ringan berada dalam keadaan tertekan, koefisien modifikasi pada 9.3.1.1.2 harus digunakan.

R9.3 - Batas desain

R9.3.1 *Tinggi balok minimum*

R9.3.1.1 Ketentuan balok beton komposit lihat R9.3.2.2.

R9.3.1.1.1 Modifikasi f_y adalah pendekatan, tetapi memberikan hasil yang konservatif untuk tipikal rasio tulangan dan untuk nilai-nilai f_y antara 280 dan 550 MPa.

R9.3.1.1.2 Modifikasi untuk beton ringan didasarkan pada hasil dan diskusi dalam ACI 213R. Tidak ada koreksi yang diberikan untuk beton dengan w_c lebih besar dari 1840 kg/m^3 karena koreksi akan mendekati satu dalam kisaran ini.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.3.1.2 Ketebalan penutup lantai (*floor finish*) beton diizinkan untuk dimasukkan ke dalam nilai h jika pengecoran dilakukan secara monolit dengan pelat lantai atau jika penutup lantai dirancang komposit dengan pelat lantai sesuai 16.4.	
9.3.2 *Batasan lendutan terhitung*	**R9.3.2** *Batasan lendutan terhitung*
9.3.2.1 Untuk balok nonprategang yang tidak memenuhi 9.3.1 dan untuk balok prategang, lendutan sesaat dan jangka panjang harus dihitung sesuai 24.2 dan tidak boleh melebihi batas pada 24.2.2.	
9.3.2.2 Untuk balok beton komposit nonprategang yang memenuhi 9.3.1, lendutan yang terjadi setelah komponen struktur menjadi komposit, tidak perlu dihitung. Lendutan yang terjadi sebelum komponen struktur menjadi komposit harus diperiksa, kecuali ketebalan sebelum komposit juga memenuhi 9.3.1.	**R9.3.2.2** Batasan dalam Tabel 9.3.1.1 berlaku untuk keseluruhan tinggi balok komposit nonprategang ditopang perancah selama konstruksi sehingga, setelah dukungan sementara dihilangkan, beban mati ditahan oleh penampang komposit penuh. Pada konstruksi yang tidak ditopang perancah, tinggi balok tersebut bergantung pada lendutan yang terjadi sebelum atau sesudah aksi komposit yang efektif tercapai. Lendutan tambahan akibat rangkak dan susut berlebih disebabkan oleh pembebanan awal harus dipertimbangkan. Ini sangat penting pada usia dini ketika kadar air tinggi dan kekuatannya rendah. Transfer dari geser horizontal oleh lekatan langsung adalah penting jika lendutan berlebihan dari slip harus dicegah. Kunci geser (*shear key*) menyediakan sarana untuk mentransfer geser namun tidak akan berperan hingga terjadi slip.
9.3.3 *Batas regangan tulangan pada balok nonprategang*	**R9.3.3** *Batas regangan tulangan pada balok nonprategang*
9.3.3.1 Untuk balok nonprategang dengan $P_u < 0{,}10 f'_c A_g$, ε_t sekurang-kurangnya 0,004.	**R9.3.3.1** Pengaruh dari pembatasan ini adalah untuk membatasi rasio tulangan dalam balok nonprategang untuk mengurangi perilaku getas lentur jika terjadi kelebihan beban. Batasan ini tidak berlaku untuk balok prategang.
9.3.4 *Batas tegangan pada balok prategang*	

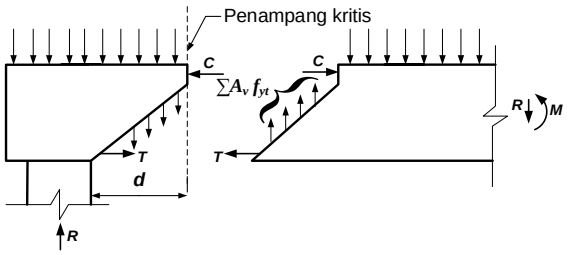
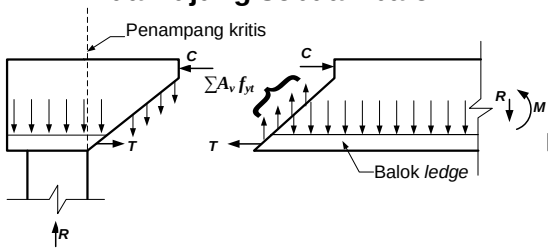
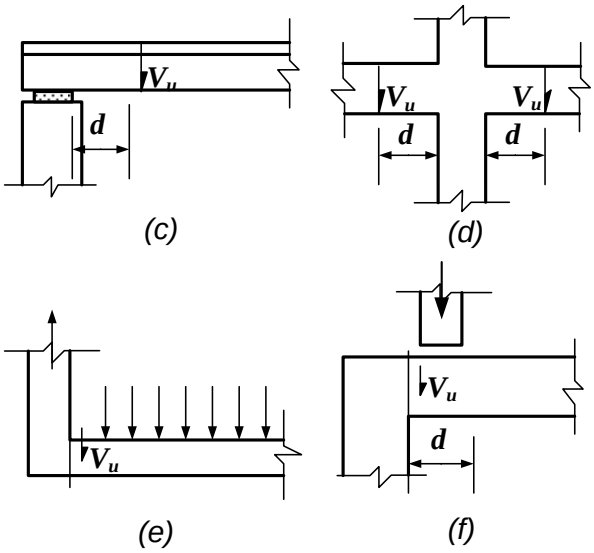
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.3.4.1 Balok prategang harus diklasifikasikan sebagai Kelas U, T, atau C sesuai 24.5.2.	
9.3.4.2 Tegangan pada balok prategang segera setelah transfer dan pada beban-beban layan harus tidak melebihi tegangan yang diizinkan pada 24.5.3 dan 24.5.4.	
9.4 - Kekuatan perlu	**R9.4 - Kekuatan perlu**
9.4.1 Umum	
9.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban yang diperhitungkan pada Pasal 5.	
9.4.1.2 Kekuatan perlu harus sesuai dengan prosedur analisis pada Pasal 6.	
9.4.1.3 Untuk balok prategang, pengaruh reaksi tumpuan yang ditimbulkan akibat prategang harus dipertimbangkan sesuai 5.3.11.	
9.4.2 *Momen terfaktor*	
9.4.2.1 Untuk balok yang dibangun menyatu dengan tumpuan, M_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.	
9.4.3 *Geser terfaktor*	**R9.4.3** *Geser terfaktor*
9.4.3.1 Untuk balok yang dibangun menyatu dengan tumpuan, V_u di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.	
9.4.3.2 Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh d dari permukaan tumpuan untuk balok nonprategang atau $h/2$ dari muka tumpuan untuk balok prategang harus dirancang untuk memenuhi V_u pada penampang kritis jika a) hingga c) terpenuhi: a) Reaksi tumpuan, dalam arah geser yang terjadi, menimbulkan tekan ke daerah ujung balok b) Beban diberikan pada atau dekat permukaan atas balok	**R9.4.3.2** Retak miring terdekat ke tumpuan dari balok pada Gambar R9.4.3.2a akan memanjang ke atas dari muka tumpuan mencapai daerah tekan kira-kira sejarak d dari muka tumpuan. Jika beban dikerjakan di atas balok, sengkang yang memotong retak ini hanya perlu memikul gaya geser akibat beban-beban yang bekerja di luar d (*free body* sebelah kanan pada Gambar R9.4.3.2a). Beban-beban yang dikerjakan pada balok antara muka tumpuan dan titik d menjauh dari muka tumpuan, ditransfer langsung ke tumpuan melalui tekan pada badan (*web*) di atas retak. Dengan demikian, Pasal ini

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
c) Tidak ada beban terpusat antara muka tumpuan dan penampang kritis.	mengizinkan desain untuk geser terfaktor maksimum V_u pada jarak d dari tumpuan untuk balok nonprategang dan jarak $h/2$ untuk balok prategang. Pada Gambar R9.4.3.2b, beban ditunjukkan di dekat bagian bawah balok. Dalam hal ini, penampang kritis diambil pada muka tumpuan. Beban yang bekerja di dekat tumpuan harus ditransfer memotong retak miring memanjang ke arah atas dari muka tumpuan. Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis tersebut harus mencakup semua beban yang dikerjakan di bawah potensi retak miring. Tipikal kondisi tumpuan dimana gaya geser pada jarak d dari tumpuan yang digunakan termasuk: a) Balok ditumpu oleh landasan di bagian bawah balok, seperti ditunjukkan pada Gambar R9.4.3.2 (c) b) Balok merangka secara monolit ke dalam kolom, seperti diilustrasikan pada Gambar R9.4.3.2 (d) Tipikal kondisi tumpuan dimana penampang kritis diambil di muka tumpuan termasuk: a) Balok merangka kedalam komponen pendukung yang menerima tarik, seperti ditunjukkan pada Gambar R9.4.3.2 (e). Geser dalam sambungan ini juga harus ditinjau dan tulangan sudut khusus harus disediakan. b) Balok yang bebannya tidak dikerjakan pada atau di dekat bagian atas, seperti yang telah dibahas sebelumnya dan seperti ditunjukkan pada Gambar R9.4.3.2b. c) Balok dibebani sedemikian rupa sehingga geser pada penampang antara tumpuan dan sejarak d dari tumpuan berbeda secara radikal dari geser pada jarak d. Ini biasanya terjadi pada korbel dan pada balok dimana beban terpusat terletak dekat dengan tumpuan, seperti ditunjukkan pada Gambar. R9.4.3.2(f).

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R9.4.3.2a – Diagram *free body* dari ujung sebuah balok**
	 **Gambar R9.4.3.2b – Lokasi penampang kritis untuk geser pada sebuah balok yang dibebani dekat bawah balok**
	 **Gambar R9.4.3.2(c), (d), (e), (f) – Tipikal kondisi-kondisi tumpuan untuk menentukan lokasi gaya geser terfaktor V_u**
9.4.4 *Torsi terfaktor*	**R9.4.4** *Torsi terfaktor*
9.4.4.1 Kecuali ditentukan dengan analisis yang lebih mendetail, beban torsi pelat harus diizinkan terdistribusi merata sepanjang balok.	
9.4.4.2 Balok dengan tumpuan, T_u pada tumpuan harus dihitung pada muka tumpuan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.4.4.3 Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis sejarak d dari muka tumpuan untuk balok nonprategang atau $h/2$ dari muka tumpuan balok prategang T_u harus didesain pada penampang kritis kecuali suatu momen torsi terpusat terjadi di jarak ini. Dalam kasus seperti itu, penampang kritis harus diambil pada muka tumpuan.	**R9.4.4.3** Tidak jarang sebuah balok terhubung kedalam satu sisi sebuah gelagar dekat tumpuan dari gelagar tersebut. Dalam kasus seperti itu, geser dan torsi terpusat dikerjakan pada gelagar tersebut.
9.4.4.4 Diizinkan untuk mengurangi T_u sesuai 22.7.3.	
9.5 - Kekuatan rencana	**R9.5 - Kekuatan rencana**
9.5.1 Umum	**R9.5.1** Umum
9.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi a) hingga d). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan. a) $\phi M_n \geq M_u$ b) $\phi V_n \geq V_u$ c) $\phi T_n \geq T_u$ d) $\phi P_n \geq P_u$	**R9.5.1.1** Kondisi desain 9.5.1.1 a) hingga d) mencantumkan gaya dan momen tipikal perlu dipertimbangkan. Namun, kondisi umum $\phi S_n \geq U$ menunjukkan bahwa semua gaya dan momen yang relevan untuk struktur tertentu perlu dipertimbangkan.
9.5.1.2 ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	
9.5.2 *Momen*	**R9.5.2** *Momen*
9.5.2.1 Jika $P_u < 0{,}10 f_c' A_g$, M_n harus dihitung sesuai 22.3.	
9.5.2.2 Jika $P_u \geq 0{,}10 f_c' A_g$, M_n harus dihitung sesuai 22.4.	**R9.5.2.2** Balok yang memikul gaya aksial cukup besar membutuhkan pertimbangan pengaruh gabungan dari gaya aksial dan momen. Balok ini tidak perlu untuk memenuhi ketentuan Pasal 10, tetapi perlu untuk memenuhi tambahan persyaratan untuk sengkang atau spiral yang didefinisikan dalam Tabel 22.4.2.1. Untuk balok langsing dengan beban aksial cukup besar, pertimbangan harus diberikan untuk pengaruh kelangsingan seperti yang diperlukan untuk kolom di 6.2.6.
9.5.2.3 Untuk balok prategang, tendon eksternal harus diperhitungkan sebagai tendon tanpa lekatan dalam menghitung kekuatan lentur, kecuali tendon eksternal	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
terlekat secara efektif pada penampang beton di sepanjang bentang.	
9.5.3 *Geser*	
9.5.3.1 V_n harus dihitung sesuai 22.5. **9.5.3.2** Untuk balok beton komposit, kekuatan geser horizontal V_{nh} harus dihitung sesuai 16.4.	
9.5.4 *Torsi*	**R9.5.4** *Torsi*
9.5.4.1 Jika $T_u < \phi T_{th}$, dimana T_{th} seperti 22.7, pengaruh torsi harus diabaikan. Tulangan minimum disyaratkan 9.6.4 dan persyaratan pendetailan 9.7.5 dan 9.7.6.3 tidak perlu dipenuhi.	
9.5.4.2 T_n harus dihitung sesuai 22.7.	
9.5.4.3 Tulangan transversal dan longitudinal untuk torsi harus ditambahkan kebutuhan tulangan akibat V_u, M_u, dan P_u yang bekerja bersamaan dengan torsi.	**R9.5.4.3** Persyaratan untuk tulangan torsi dan geser adalah dijumlahkan dan sengkang yang disediakan sekurang-kurangnya adalah jumlah total yang diperlukan. Karena luas tulangan A_v untuk geser didefinisikan sebagai semua kaki sengkang sedangkan luas tulangan A_t untuk torsi didefinisikan sebagai satu kaki saja, penjumlahan luas tulangan transversal dihitung sebagai berikut: $$\text{Total}\left(\frac{A_{v+t}}{s}\right) = \frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s} \qquad \text{(R9.5.4.3)}$$ Jika sebuah kelompok sengkang memiliki lebih dari dua kaki untuk geser, hanya kaki yang berdekatan dengan sisi balok diikutkan dalam penjumlahan ini karena kaki bagian dalam tidak efektif untuk menahan torsi. Tulangan longitudinal yang dibutuhkan untuk torsi adalah ditambahkan pada setiap penampang dengan tulangan longitudinal diperlukan untuk momen lentur yang bekerja bersamaan dengan torsi. Tulangan longitudinal kemudian dipilih dari penjumlahan ini, tetapi seharusnya tidak kurang dari jumlah yang diperlukan untuk momen lentur maksimum pada bagian itu jika melebihi saat bekerja bersamaan dengan torsi. Jika momen lentur maksimum terjadi pada suatu

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	penampang, seperti tengah bentang, sementara momen torsi maksimum terjadi di bagian lain, seperti muka tumpuan, total tulangan longitudinal yang diperlukan mungkin kurang dari yang diperoleh dengan menambahkan tulangan lentur maksimum, ditambah tulangan torsi maksimum. Dalam kasus seperti itu, tulangan longitudinal yang dibutuhkan dievaluasi pada beberapa lokasi.
9.5.4.4 Untuk beton prategang, luas total tulangan longitudinal, A_s dan A_{ps}, pada tiap penampang harus dihitung untuk menahan M_u, ditambah tulangan tarik longitudinal konsentrik setara dengan $A_\ell f_y$, didasarkan pada T_u pada penampang tersebut.	**R9.5.4.4** Torsi menyebabkan gaya aksial tarik pada tulangan longitudinal diimbangi oleh gaya *strut* diagonal tekan beton. Pada balok nonprategang, gaya tarik harus dipikul oleh tulangan longitudinal yang memiliki kekuatan aksial tarik sebesar $A_\ell f_y$. Tulangan ini adalah tambahan pada tulangan lentur yang diperlukan dan didistribusikan secara merata di dalam dan di sekeliling tulangan sengkang tertutup sehingga resultan dari $A_\ell f_y$ bekerja sepanjang sumbu balok. Pada balok prategang, pendekatan yang sama (memberikan tambahan tulangan dengan kekuatan $A_\ell f_y$) harus diikuti, atau kelebihan kekuatan dari tulangan prategang digunakan untuk menahan beberapa bagian gaya aksial $A_\ell f_y$. Tegangan tulangan prategang pada kekuatan nominal berada di antara f_{se} dan f_{ps}. Sebagian dari gaya $A_\ell f_y$ dapat ditahan oleh gaya $A_{ps}\Delta f_{pt}$ pada tulangan prategang, dimana Δf_{pt} adalah perbedaan antara tegangan yang dapat disalurkan pada *strand* di penampang yang ditinjau dan tegangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur pada penampang tersebut, M_u. Tegangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur bisa dihitung sebagai $M_u/(\phi 0{,}9 d_p A_{ps})$. Untuk *strand* prategang, tegangan dapat terjadi di dekat ujung bebas *strand* dihitung menggunakan prosedur yang diilustrasikan pada Gambar. R25.4.8.3.
9.5.4.5 Diizinkan untuk mengurangi luas tulangan torsi longitudinal pada daerah tekan lentur sejumlah yang sama dengan $M_u / \left(0{,}9 d f_y\right)$ dimana M_u terjadi bersamaan dengan T_u pada penampang, kecuali luas tulangan longitudinal tidak	**R9.5.4.5** Tarik longitudinal akibat torsi diimbangi sebagian oleh tekan di daerah tekan lentur, memungkinkan pengurangan tulangan longitudinal torsi yang diperlukan pada daerah tekan tersebut.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
boleh lebih kecil dari syarat minimum di 9.6.4.	
9.5.4.6 Untuk penampang solid dengan aspek rasio $h/b_t \geq 3$, harus menggunakan prosedur desain alternatif, asalkan kecukupan prosedur telah ditunjukkan oleh analisis dan secara subtansi sesuai dengan hasil uji yang komprehensif. Persyaratan tulangan minimum 9.6.4 tidak perlu dipenuhi, namun persyaratan pendetailan 9.7.5 dan 9.7.6.3 digunakan.	**R9.5.4.6** Contoh dari desain alternatif yang memenuhi ketentuan ini dapat ditemukan di Zia dan Hsu (2004), telah secara luas dan berhasil digunakan untuk desain pracetak, balok *spandrel* beton pracetak dengan $h/b_t \geq 3$ dan sengkang tertutup. Edisi ketujuh dari *PCI Design Handbook* (PCI MNL-120) menjelaskan prosedur Zia dan Hsu (2004). Prosedur ini telah diverifikasi secara eksperimental oleh tes yang dijelaskan dalam Klein (1986).
9.5.4.7 Untuk penampang solid pracetak dengan aspek rasio $h/b_t \geq 4{,}5$, harus menggunakan prosedur desain alternatif dan sengkang terbuka (*open web reinforcement*), asalkan kecukupan prosedur dan tulangan telah ditunjukkan oleh analisis dan persetujuan substansial dengan hasil uji komprehensif. Persyaratan tulangan minimum 9.6.4 dan persyaratan pendetailan 9.7.5 dan 9.7.6.3 tidak harus dipenuhi.	**R9.5.4.7** Hasil eksperimen yang dijelaskan dalam Lucier et al. (2011a) menunjukkan bahwa tulangan badan terbuka yang didesain secara benar adalah sebuah alternatif yang aman dan efektif terhadap sengkang tertutup tradisional untuk spandrel pracetak dengan $h/b_t \geq 4{,}5$. Lucier et al. (2011b) menyajikan prosedur desain yang memenuhi ketentuan ini untuk spandrel langsing dan memaparkan batasan kondisi dimana prosedur ini berlaku.
9.6 - Batasan tulangan	**R9.6 - Batasan tulangan**
9.6.1 *Tulangan lentur minimum pada balok nonprategang*	**R9.6.1** *Tulangan lentur minimum pada balok nonprategang*
9.6.1.1 Luas minimum tulangan lentur $A_{s,min}$, harus disediakan pada tiap penampang dimana tulangan tarik dibutuhkan sesuai analisis.	**R9.6.1.1** Ketentuan ini dimaksudkan untuk menghasilkan kekuatan lentur melebihi kekuatan retak dengan cukup besar. Tujuannya adalah untuk menghasilkan sebuah balok yang mampu bertahan setelah terjadinya retak lentur, dengan retak dan lendutan yang terlihat, dengan demikian memperingatkan kemungkinan kelebihan beban. Balok dengan tulangan yang lebih sedikit dapat terjadi kegagalan secara tiba-tiba dengan terjadinya retak lentur. Dalam praktiknya, ketentuan ini hanya mengontrol desain tulangan balok, untuk arsitektur atau alasan lain, memiliki penampang lebih besar daripada yang diperlukan untuk kekuatan. Dengan sejumlah kecil tulangan tarik dibutuhkan untuk kekuatan, kekuatan momen terhitung dari penampang beton bertulang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	menggunakan analisis penampang retak menjadi lebih kecil daripada kekuatan penampang beton tidak bertulang yang dihitung dari modulus hancurnya. Kegagalan seperti kasus ini bisa terjadi pada retak pertama dan tanpa peringatan. Untuk mencegah kegagalan seperti itu, jumlah tulangan tarik minimum diperlukan baik di daerah momen positif maupun negatif.
9.6.1.2 $A_{s,min}$ harus lebih besar dari a) dan b), kecuali disediakan 9.6.1.3. Untuk balok statis tertentu dengan sayap dalam keadaan tarik, nilai b_w harus lebih kecil dari b_f dan $2b_w$. a) $\frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$ b) $\frac{1,4}{f_y} b_w d$	**R9.6.1.2** Jika sayap dari suatu penampang adalah tertarik, jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk membuat kekuatan penampang bertulangan sama dengan kekuatan penampang tidak bertulang sekitar dua kali dari penampang persegi panjang atau kekuatan penampang bersayap dengan bagian sayap menerima tekan. Jumlah tulangan tarik minimum lebih banyak diperlukan pada kantilever dan balok statis tertentu lainnya dimana tidak ada kemungkinan untuk redistribusi momen.
9.6.1.3 Jika A_s disediakan pada setiap penampang sekurang-kurangnya sepertiga lebih besar dari A_s analisis, 9.6.1.1 dan 9.6.1.2 tidak perlu dipenuhi.	
9.6.2 *Tulangan lentur minimum pada balok prategang*	**R9.6.2** *Tulangan lentur minimum pada balok prategang*
9.6.2.1 Untuk pelat dengan tulangan prategang terlekat, jumlah total A_s dan A_{ps} harus cukup untuk mengembangkan beban terfaktor sekurang-kurangnya 1,2 kali beban retak dihitung berdasarkan f_r seperti yang diberikan pada 19.2.3.	**R9.6.2.1** Tulangan lentur minimum diperlukan untuk alasan yang sama dengan balok nonprategang seperti yang didiskusikan pada R9.6.1.1. Kegagalan lentur medadak secara tiba-tiba setelah retak tidak terjadi bila tulangan prategang adalah tanpa lekatan (ACI 423.3R); sehingga, persyaratan ini tidak berlaku untuk komponen struktur dengan tendon tanpa lekatan.
9.6.2.2 Untuk balok dengan kekuatan desain lentur dan geser sekurang-kurangnya dua kali kekuatan perlu, 9.6.2.1 tidak perlu terpenuhi.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

9.6.2.3 Untuk balok dengan tendon tanpa lekatan, luas minimum tulangan ulir longitudinal dengan lekatan $A_{s,min}$ harus:

$$A_{s,min} = 0{,}004 A_{ct} \qquad (9.6.2.3)$$

dimana A_{ct} adalah luas penampang yang berada pada sisi tarik sampai titik berat penampang bruto.

9.6.3 *Tulangan geser minimum*

9.6.3.1 Luas minimum tulangan geser $A_{v,min}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0{,}5\phi V_c$ kecuali untuk kasus pada Tabel 9.6.3.1. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v,min}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Tabel 9.6.3.1 — Kasus dimana $A_{v,min}$ tidak diperlukan jika $0{,}5\phi V_c < V_u \le \phi V_c$

Tipe balok	Kondisi
Balok tipis	$h \le 250$ mm
Menyatu dengan pelat	$h \le$ terbesar dari $2{,}5t_f$ atau $0{,}5b_w$ dan $h \le 600$ mm
Dibangun dengan beton bobot normal bertulangan serat baja sesuai 26.4.1.5.1(a), 26.4.2.2(d), dan 26.12.5.1(a) dan dengan $f_c' \le 40$ MPa	$h \le 600$ mm dan $V_u \le \phi 0{,}17\sqrt{f_c'}\, b_w d$
Sistem pelat berusuk satu-arah	Sesuai dengan 9.8

PENJELASAN

R9.6.2.3 Tulangan terlekat minimum diperlukan oleh pasal ini pada balok prategang menggunakan tendon tanpa lekatan untuk memastikan perilaku lentur pada kekuatan ultimit balok, daripada perilaku pelengkung ikat, dan untuk membatasi lebar dan spasi retak pada beban layan ketika tegangan tarik beton melebihi modulus hancur. Tersedianya tulangan terlekat minimum membantu memastikan perilaku yang dapat diterima pada semua tahap pembebanan. Jumlah minimum tulangan terlekat adalah berdasarkan penelitian dengan membandingkan perilaku balok pascatarik dengan lekatan dan tanpa lekatan (Mattock et al. 1971). Luas tulangan terlekat minimum yang dibutuhkan Pers. (9.6.2.3) tidak bergantung pada f_y tulangan.

R9.6.3 *Tulangan geser minimum*

R9.6.3.1 Tulangan geser menahan perkembangan retak miring sehingga daktilitas balok ditingkatkan dan memberikan peringatan kegagalan. Pada badan balok yang tidak bertulang, terbentuknya retak miring mungkin menyebabkan kegagalan langsung tanpa peringatan. Tulangan seperti itu sangat bermanfaat jika balok dikenakan gaya tarik tak terduga atau beban berlebih. Dengan demikian, luas tulangan geser minimum tidak kurang dari yang diberikan pada Tabel 9.6.3.3 diperlukan, dimana V_u lebih besar dari $0{,}5\phi V_c$, atau lebih besar dari ϕV_c untuk kasus-kasus yang ditunjukkan pada Tabel 9.6.3.1.

Penelitian (Angelakos et al. 2001; Lubell et al. 2004; Brown et al. 2006; Becker dan Buettner 1985; Anderson 1978) telah menunjukkan bahwa balok tinggi dengan tulangan sedikit, terutama jika dibuat dengan beton mutu tinggi atau beton dengan ukuran agregat kasar yang kecil, mungkin gagal akibat geser kurang dari V_c dihitung dari 22.5.5. Balok yang dibebani terpusat cenderung menunjukan kerentanan ini. Karena hal ini, pengecualian untuk jenis balok tertentu pada Tabel 9.6.3.1 dibatasi untuk kasus dimana h tidak melebihi 600 mm. Untuk balok dimana f_c' lebih besar dari 48 MPa,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	pertimbangan harus diberikan untuk menyediakan tulangan geser minimum jika h lebih besar dari 450 mm dan V_u lebih besar dari $0{,}5\phi V_c$. Pengecualian untuk balok yang dibuat menggunakan beton serat baja sebagai alternatif desain untuk penggunaan tulangan geser, sebagaimana didefinisikan dalam 22.5.10.5, untuk balok dengan tulangan longitudinal lentur dimana V_u tidak melebihi $\phi 0{,}17\sqrt{f_c'}b_w d$. Pasal 26 menentukan informasi desain dan persyaratan penerimaan perlu dimasukkan ke dalam dokumen konstruksi ketika beton serat baja digunakan untuk keperluan ini. Balok beton serat dengan dengan serat baja berkait atau berlekuk, dalam dosis seperti dipersyaratkan 26.4.2.2d), telah ditunjukkan melalui uji laboratorium menghasilkan kekuatan geser lebih besar dari $0{,}29\sqrt{f_c'}b_w d$ (Parra-Montesinos 2006). Belum ada data untuk penggunaan serat baja sebagai tulangan geser balok beton yang terpapar klorida dari zat kimia, garam, air asin, air payau, air laut, atau semprotan dari sumber-sumber ini. Bilamana serat baja digunakan sebagai tulangan geser di lingkungan korosif, perlindungan korosi seharusnya dipertimbangkan. Pelat berusuk tidak disertakan dari persyaratan tulangan geser minimum untuk $0{,}5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$ karena ada kemungkinan pembagian beban antara daerah lemah dan kuat. Bahkan ketika V_u kurang dari $0{,}5\phi V_c$, penggunaan tulangan badan dianjurkan pada semua balok dengan badan tipis, komponen pascatarik seperti pelat berusuk, pelat wafel, balok, dan balok-T, untuk manahan gaya tarik pada badan yang dihasilkan dari penyimpangan profil desain tendon dan untuk menyediakan pendukung tendon pada profil desain selama konstruksi. Jika tumpuan yang memadai tidak disediakan, goyangan lateral dan penyimpangan lokal dari profil tendon parabola yang diasumsikan dalam desain mungkin terjadi selama pegecoran beton. Dalam kasus seperti itu, penyimpangan pada tendon cenderung menjadi lurus saat tendon ditarik. Proses ini dapat mengakibatkan tegangan tarik

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	yang besar pada badan, dan keretakan parah dapat terjadi jika tidak disediakan tulangan badan. Kelengkungan tidak diinginkan pada tendon, dan tegangan tarik pada badan, mungkin dapat diminimalkan dengan mengikat tendon secara aman ke sengkang ditahan dengan kaku oleh kerangka komponen tulangan lainnya. Jarak maksimum sengkang yang direkomendasikan untuk tujuan ini adalah nilai terkecil dari $1{,}5h$ atau 1,2 m. Jika berlaku, ketentuan tulangan geser 9.6.3 dan 9.7.6.2.2 akan membutuhkan jarak sengkang yang lebih dekat. Untuk balok dengan beban berulang, kemungkinan terbentuknya retak tarik diagonal miring akibat tegangan yang jauh lebih kecil daripada akibat beban statis harus diperhitungkan dalam desain. Dalam hal ini, gunakan setidaknya tulangan geser minimum disarankan seperti yang dinyatakan 9.6.3.3 meskipun pengujian atau perhitungan berdasarkan beban statis menunjukan bahwa tulangan geser tidak diperlukan.
9.6.3.2 Jika ditunjukkan dalam pengujian bahwa M_n dan V_n yang dibutuhkan dapat terpenuhi, 9.6.3.1 tidak perlu dipenuhi. Pengujian harus mensimulasikan pengaruh dari beda penurunan, rangkak, susut, dan perubahan suhu, berdasarkan perkiraan realistis terhadap pengaruh yang terjadi dalam masa layan.	**R9.6.3.2** Ketika balok diuji untuk menunjukkan bahwa kekuatan geser dan lenturnya memadai, dimensi aktual balok dan kekuatan materialnya telah diketahui. Oleh karena itu, kekuatan hasil pengujian dianggap sebagai kekuatan nominal V_n dan M_n. Mempertimbangkan kekuatan ini sebagai nilai nominal memastikan bahwa jika kekuatan material yang sebenarnya di lapangan kurang dari ditentukan, atau dimensi balok tidak tepat sehingga menghasilkan kekuatan balok yang berkurang, keamanan struktur dapat dipertahankan karena faktor reduksi kekuatan ϕ.
9.6.3.3 Jika tulangan geser diperlukan dan pengaruh torsional dapat diabaikan sesuai dengan 9.5.4.1, $A_{v,min}$ harus sesuai dengan Tabel 9.6.3.3.	**R9.6.3.3** Pengujian (Roller dan Russell 1990) telah menunjukan perlunya meningkatkan luas tulangan geser minimum dengan meningkatnya kekuatan beton untuk mencegah kegagalan geser tiba-tiba ketika retak miring muncul sehingga persamaan (a) dan (c) pada Tabel 9.6.3.3 menyediakan peningkatan luas tulangan transversal minimum secara bertahap dengan peningkatan kekuatan beton. Persamaan (b) dan (d) pada Tabel

Tabel 9.6.3.3 – Kebutuhan $A_{v,min}$

Jenis balok	$A_{v,min}/s$		
Nonprategang dan prategang	Ter-besar	$0{,}062\sqrt{f_c'}\,\frac{b_w}{f_{yt}}$	(a)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR				PENJELASAN
dengan $A_{ps}f_{se} < 0{,}4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$	dari:	$0{,}35\frac{b_w}{f_{yt}}$	(b)	9.6.3.3 menyediakan luas tulangan transversal minimum terlepas dari kekuatan beton dan memenuhi untuk kekuatan beton kurang dari 30 MPa. Pengujian (Olesen et al. 1967) dari balok prategang dengan tulangan badan minimum berdasarkan 9.6.3.3 menunjukkan bahwa nilai terendah dari $A_{v,min}$ dari persamaan (c) dan (e) sudah cukup untuk menghasilkan perilaku daktail. Persamaan (e) dibahas dalam Olesen et al. (1967).
Prategang dengan $A_{ps}f_{se} \geq 0{,}4(A_{ps}f_{pu}+A_s f_y)$	Ter-kecil dari:	Terbesar dari: $0{,}062\sqrt{f_c'}\frac{b_w}{f_{yt}}$	(c)	
		$0{,}35\frac{b_w}{f_{yt}}$	(d)	
		$\frac{A_{ps}f_{pu}}{80 f_{yt} d}\sqrt{\frac{d}{b_w}}$	(e)	

9.6.4 *Tulangan torsi minimum*

9.6.4.1 Luas minimum tulangan torsi harus disediakan di seluruh daerah dimana $T_u \geq \phi T_{th}$ sesuai 22.7.

R9.6.4 *Tulangan torsi minimum*

9.6.4.2 Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan transversal minimum $(A_v + 2A_t)_{min}/s$ harus lebih besar dari a) atau b):

a) $0{,}062\sqrt{f_c'}\frac{b_w}{f_{yt}}$

b) $0{,}35\frac{b_w}{f_{yt}}$

R9.6.4.2 Perbedaan dalam definisi A_v dan A_t perlu diperhatikan: A_v adalah luas dua kaki sengkang tertutup, sedangkan A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup. Jika sebuah kelompok sengkang memiliki lebih dari dua kaki, hanya kaki yang berdekatan ke sisi balok diperhitungkan, seperti yang dibahas dalam R9.5.4.3.

Pengujian (Roller dan Russell 1990) balok beton bertulang mutu tinggi telah menunjukkan bahwa kebutuhan luas tulangan geser minimum meningkat untuk mencegah kegagalan geser saat retak miring terjadi. Meski ada pengujian terbatas balok beton berkekuatan tinggi dalam torsi, persamaan untuk luas minimum sengkang tertutup melintang telah dibuat konsisten dengan perhitungan tulangan geser minimum yang diperlukan.

9.6.4.3 Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan longitudinal minimum $A_{t,min}$ harus lebih kecil dari a) dan b):

a) $0{,}42\sqrt{f_c'}\frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y}$

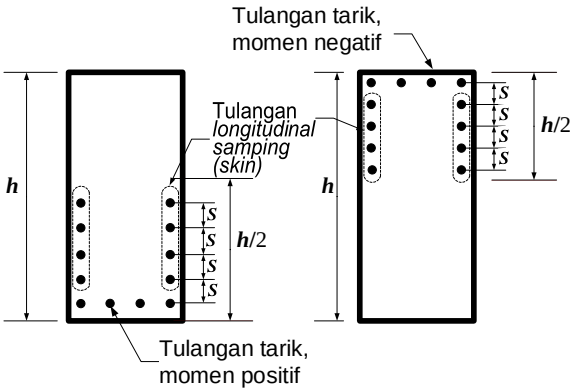
b) $0{,}42\sqrt{f_c'}\frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0{,}175 b_w}{f_{yt}}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y}$

R9.6.4.3 Akibat kombinasi torsi dan geser, momen torsi retak menurun dengan bekerjanya geser, mengarahkan pada pengurangan tulangan torsi yang diperlukan untuk mencegah keruntuhan getas secara tiba-tiba segera setelah keretakan. Bila dikenakan torsi murni, spesimen balok beton bertulang dengan tulangan torsi kurang dari 1 % berdasarkan volume mengalami kegagalan pada retak torsi pertama (MacGregor dan Ghoneim 1995). Pers. 9.6.4.3 (a) didasarkan pada rasio 2:1 tegangan torsi terhadap tegangan geser dan menghasilkan rasio

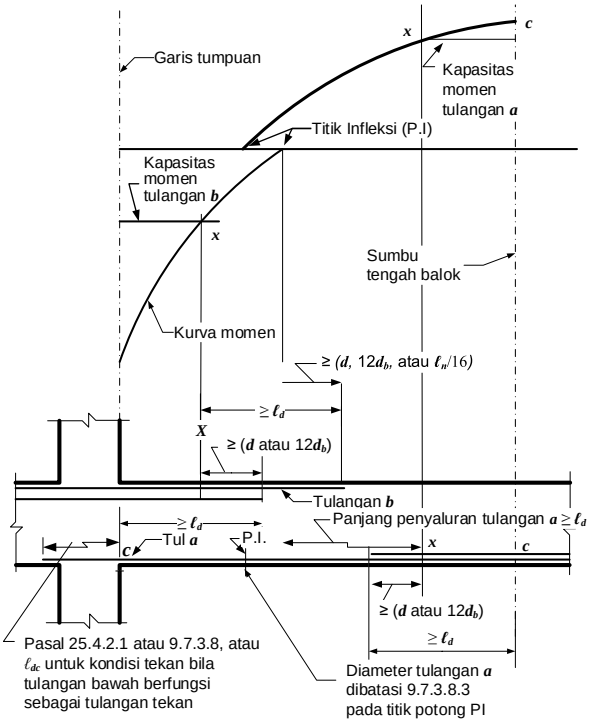
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	volumetrik tulangan torsi sekitar 0,5 % (Hsu 1968). Pengujian balok beton prategang telah menunjukkan bahwa jumlah yang sama diperlukan untuk tulangan longitudinal.
9.7 - Pendetailan penulangan	**R9.7 - Pendetailan penulangan**
9.7.1 Umum	
9.7.1.1 Selimut beton untuk penulangan harus sesuai 20.6.1.	
9.7.1.2 Panjang penyaluran tulangan ulir dan tulangan prategang harus sesuai 25.4.	
9.7.1.3 Sambungan lewatan tulangan ulir harus memenuhi sesuai 25.5.	
9.7.1.4 Tulangan bundel harus sesuai dengan 25.6.	
9.7.2 *Spasi tulangan*	**R9.7.2** *Spasi tulangan*
9.7.2.1 Spasi minimum s harus sesuai 25.2.	
9.7.2.2 Untuk balok nonprategang dan prategang Kelas C, spasi tulangan longitudinal terlekat yang terdekat dengan muka tarik tidak boleh melebihi s sesuai dengan 24.3.	
9.7.2.3 Untuk balok nonprategang dan prategang kelas C, dengan h melebihi 900 mm, tulangan longitudinal samping harus didistribusikan merata pada kedua muka samping balok sejarak $h/2$ dari muka tarik. Spasi tulangan longitudinal terlekat tidak boleh melebihi s yang diberikan dalam 24.3.2, dimana c_c adalah selimut bersih dari muka tulangan samping ke muka samping balok. Diizinkan untuk mengikutsertakan tulangan samping pada perhitungan kekuatan jika analisis kompatibilitas regangan dilakukan.	**R9.7.2.3** Untuk balok yang relatif tinggi, beberapa tulangan harus ditempatkan dekat dengan sisi tegak dari daerah tarik untuk mengontrol retak pada badan (Frantz and Breen 1980; Frosch 2002), seperti tampak pada Gambar R9.7.2.3. Tanpa tulangan bantu tersebut, lebar retak pada badan akan melampaui tingkat lebar retak pada tulangan lentur tarik. Ukuran dari tulangan longitudinal samping (*skin reinforcement*) tidak ditentukan secara khusus; penelitian menunjukkan bahwa spasi tulangan lebih penting dibandingkan dengan ukuran tulangan (Frosch 2002). Batang tulangan ukuran D10 hingga D16, atau kawat tulangan yang dilas dengan luas minimum 210 mm^2 per meter tinggi, biasanya disediakan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R9.7.2.3 – Tulangan longitudinal samping (*skin reinforcement*) untuk balok dan pelat berusuk dengan *h* > 900 mm**
9.7.3 *Tulangan lentur pada balok nonprategang*	**R9.7.3** *Tulangan lentur pada balok nonprategang*
9.7.3.1 Gaya tarik atau tekan terhitung pada tulangan di setiap penampang pelat harus disediakan pada tiap sisi dari penampang.	
9.7.3.2 Lokasi kritis penyaluran tulangan adalah titik-titik tegangan maksimum dan titik-titik di sepanjang bentang dimana tulangan tarik yang dibengkokan atau diputus tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur.	**R9.7.3.2** Pada standar ACI sebelum tahun 2014, salah satu penampang kritis didefinisikan sebagai lokasi dimana tulangan yang berdekatan berhenti atau dibengkokkan. Pada standar ACI tahun 2014, penampang kritis ini didefinisikan ulang, “dimana bengkokan atau pemutusan tulangan tarik tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur.” Penampang kritis untuk balok menerus yang tipikal diindikasikan dengan huruf “c” untuk titik dengan tegangan maksimum atau huruf “x” untuk titik dimana bengkokan atau pemutusan tulangan tarik tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur (Gambar R.9.7.3.2). Untuk beban merata, tulangan positif diteruskan sampai ke tumpuan lebih ditentukan oleh persyaratan 9.7.3.8.1 atau 9.7.3.8.3 daripada oleh panjang penyaluran yang diukur dari titik momen maksimum atau pemutusan tulangan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R9.7.3.2 – Penyaluran tulangan lentur dalam balok menerus yang tipikal**
9.7.3.3 Tulangan harus diteruskan melewati titik dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur dengan jarak setidaknya yang terbesar dari d dan $12d_b$, kecuali pada tumpuan sederhana dan kantilever.	**R9.7.3.3** Diagram momen yang biasanya digunakan dalam desain adalah pendekatan, beberapa pergeseran lokasi momen maksimum dapat terjadi karena perubahan pembebanan, penurunan tumpuan, beban lateral, atau penyebab lainnya. Retak tarik diagonal dalam komponen lentur tanpa sengkang mungkin menggeser lokasi tegangan tarik yang dihitung sekitar jarak d menuju titik momen nol. Jika sengkang disediakan, pengaruh ini berkurang, meskipun masih ada sampai batas tertentu. Untuk menyediakan pergeseran di lokasi momen maksimum, Pasal ini mensyaratkan perpanjangan penulangan sejarak d atau $12d_b$ di luar titik hitung dimana tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur, kecuali sebagaimana seperti diatur dalam peraturan. Titik potong tulangan untuk memenuhi persyaratan ini diilustrasikan pada Gambar R9.7.3.2. Jika ukuran tulangan digunakan berbeda, perpanjangan harus sesuai dengan diameter batang tulangan yang dihentikan.

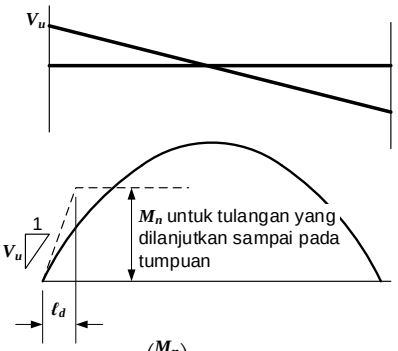
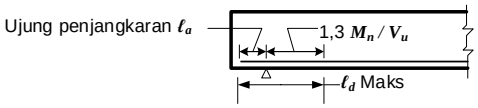
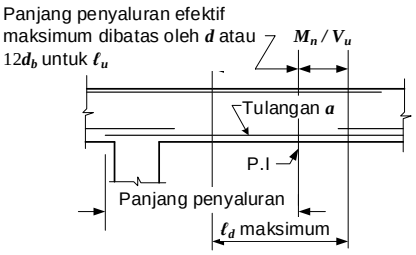
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.7.3.4 Penyaluran tulangan tarik lentur harus memiliki panjang penyaluran paling sedikit ℓ_d melewati titik dimana tulangan tarik yang dibengkokan atau diputus tidak diperlukan lagi untuk menahan lentur.	**R9.7.3.4** Tegangan puncak lokal ada di tulangan yang tersisa di mana tulangan berdekatan diputus di daerah tarik. Pada Gambar R9.7.3.2, huruf "x" digunakan untuk menunjukkan titik di mana pemutusan tulangan tarik tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur. Jika tulangan terputus di lokasi ini (lokasi pemotongan yang diperlukan berada di luar titik ini sesuai dengan 9.7.3.3), tegangan puncak di batang tulangan yang menerus akan mencapai f_y di "x". Oleh karena itu, tulangan menerus diperlukan untuk mendapatkan perpanjangan ℓ_d penuh seperti yang ditunjukkan.
9.7.3.5 Tulangan tarik lentur tidak boleh dihentikan pada area tarik kecuali a), b), atau c) terpenuhi: a) $V_u \leq (2/3)\phi V_n$ pada titik putus (*cutoff)* b) Untuk tulangan D36 atau yang lebih kecil, luas tulangan yang diteruskan dua kali lipat dari luas yang dibutuhkan untuk lentur pada titik putus dan $V_u \leq (3/4)\ \phi V_n$. c) Luas sengkang berlebih yang diperlukan untuk geser disediakan di sepanjang pemutusan tulangan atau kawat sejarak $3/4d$ dari titik pemutusan tulangan. Luas sengkang berlebih harus tidak boleh kurang dari $0{,}41 b_w s/f_{yt}$. Spasi s tidak boleh melebihi $d/(8\beta_b)$.	**R9.7.3.5** Pengurangan kekuatan geser dan hilangnya daktilitas ketika tulangan terpotong di daerah tarik, seperti pada Gambar R9.7.3.2, telah dilaporkan. Pasal ini tidak mengizinkan penulangan lentur untuk dihentikan di daerah tarik kecuali kondisi tambahan dipenuhi. Retak lentur cenderung terbuka pada tingkat beban rendah di mana setiap penulangan diputuskan di daerah tarik. Jika tegangan dalam penulangan menerus dan kekuatan geser dekat dengan nilai-nilai yang membatasi, retak tarik diagonal cenderung berkembang sebelum waktunya dari retakan lentur ini. Retak diagonal cenderung tidak terbentuk jika tegangan geser rendah (9.7.3.5(a)) atau tegangan tulangan lentur rendah (9.7.3.5(b)). Retak diagonal dapat dikekang oleh spasi sengkang yang rapat (9.7.3.5(c)). Persyaratan ini tidak dimaksudkan untuk diterapkan pada sambungan tarik yang tercakup oleh 25.5.
9.7.3.6 Pengangkuran yang cukup harus disediakan untuk tulangan tarik dimana tegangan tulangan tidak proporsional dengan momen, seperti pada pelat miring, pelat berundak, pelat tirus, atau dimana tulangan tarik tidak sejajar dengan permukaan tekan.	
9.7.3.7 Penyaluran tulangan tarik akibat lentur sepanjang badan diangkur atau dibuat menerus dengan tulangan pada sisi balok yang berlawanan harus diizinkan.	**R9.7.3.7** Sebuah tulangan ditekuk ke sisi luar balok dan menerus boleh dianggap efektif dalam mencapai 9.7.3.3 hingga titik di mana tulangan melewati tengah dari tinggi komponen.
9.7.3.8 *Pemutusan tulangan*	**R9.7.3.8** *Pemutusan tulangan*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.7.3.8.1 Pada tumpuan sederhana, setidaknya sepertiga dari tulangan momen positif maksimum harus diteruskan sepanjang bawah balok sampai ke tumpuan, kecuali untuk balok pracetak dimana tulangan tersebut harus diteruskan sekurang-kurangnya sampai pusat panjang landasan.	**R9.7.3.8.1** Penulangan momen positif diperpanjang ke dalam tumpuan untuk menangani pergeseran momen karena perubahan pembebanan, penurunan tumpuan, dan beban lateral. Hal ini juga meningkatkan integritas struktur. Untuk balok pracetak, toleransi dan selimut beton harus dipertimbangkan untuk menghindari tertumpu pada beton polos di mana tulangan telah dihentikan.
9.7.3.8.2 Pada tumpuan lain, sedikitnya seperempat dari tulangan momen positif maksimum harus diteruskan sepanjang bawah balok ke tumpuan sekurang-kurangnya 150 mm dan, jika balok merupakan bagian dari sistem penahan beban lateral utama, harus diangkur untuk menghasilkan f_y pada sisi tumpuan.	**R9.7.3.8.2** Penyaluran tulangan momen positif pada tumpuan diperlukan untuk balok yang merupakan bagian dari sistem penahan beban lateral utama untuk memberikan daktilitas dalam hal momen bolak-balik.
9.7.3.8.3 Pada tumpuan sederhana dan titik balik, d_b untuk tulangan tarik momen positif harus dibatasi sedemikian rupa sehingga ℓ_d dapat memenuhi a) atau b). Jika tulangan terputus melewati garis tengah tumpuan dengan ujung kait standar atau pengangkuran mekanis yang setidaknya setara dengan kait standar, a) atau b) tidak perlu dipenuhi. a) $\ell_d \leq (1{,}3M_n/V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan b) $\ell_d \leq (M_n/V_u + \ell_a)$ jika ujung tulangan tidak dikekang oleh reaksi tekan M_n dihitung dengan asumsi semua tegangan tulangan pada penampang mencapai f_y dan V_u dihitung pada penampang tersebut. Pada tumpuan, ℓ_a adalah panjang penyaluran yang melewati pusat tumpuan. Pada titik balik, ℓ_a adalah panjang penyaluran yang melewati titik balik, dibatasi dengan nilai terbesar dari d atau $12d_b$.	**R9.7.3.8.**3 Diameter tulangan tarik momen positif dibatasi untuk menjaga bahwa tulangan dapat disalurkan sependek mungkin sehingga kapasitas momen adalah lebih besar daripada momen yang bekerja sepanjang bentang balok. Sebagaimana diilustrasikan dalam diagram momen Gambar R9.7.3.8.3(a), kemiringan dari diagram momen adalah V_u, sedangkan kemiringan penyaluran momen adalah M_n/ℓ_d, dimana M_n adalah kekuatan lentur nominal penampang. Dengan mengukur penulangan sedemikian rupa sehingga kapasitas kemiringan M_n/ℓ_d sama atau melebihi tingkat kemiringan yang diperlukan V_u, penyaluran yang tepat akan terpenuhi. Oleh karena itu, M_n/V_u menunjukkan panjang penyaluran yang tersedia. Pada kondisi tumpuan menguntungkan, peningkatan 30 persen untuk M_n/V_u diizinkan ketika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan. Penerapan dari ketentuan ini diilustrasikan pada Gambar. R9.7.3.8.3(b) untuk tumpuan sederhana dan pada Gambar. R9.7.3.8.3(c) untuk titik belok (*inflection*). Sebagai contoh, ukuran tulangan disediakan pada tumpuan sederhana terpenuhi hanya jika batang tulangan yang bersesuaian, ℓ_d, dihitung

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	sesuai dengan 25.4.2, tidak melebihi $1{,}3M_n/V_u + \ell_a$. Besaran ℓ_d digunakan pada titik belok dibatasi oleh tinggi efektif dari komponen d atau 12 kali diameter tulangan ($12d_b$), dipilih yang terbesar. Pembatasan ℓ_a ditentukan karena data hasil uji tidak tersedia untuk menunjukkan bahwa panjang penjangkaran ujung akan sepenuhnya efektif dalam menyalurkan tulangan yang memiliki jarak yang pendek antara titik infleksi dan titik tegangan maksimum.  Kemiringan kurva kapasitas $\left(\frac{M_n}{\ell_d}\right) \geq$ Kemiringan yang dibutuhkan (V_u) $\ell_d \leq \frac{M_n}{V_u}$ *(a) Diagram M_u positif*  Catatan: Faktor 1,3 hanya boleh digunakan bila reaksi tumpuan mengakibatkan kekangan pada ujung tulangan *(b) ℓ_d maksimum pada tumpuan sederhana*  (c) ℓ_d maksimum untuk tulangan "a" pada titik peralihan **Gambar R9.7.3.8.3 – Penentuan ukuran batang maksimum sesuai dengan 9.7.3.8.3.**
9.7.3.8.4 Setidaknya sepertiga dari tulangan momen negatif pada tumpuan harus memiliki panjang penyaluran melewati titik balik sekurang-kurangnya terbesar dari d, $12d_b$, dan $\ell_n/16$.	
9.7.4 *Tulangan lentur pada balok prategang*	**R9.7.4** *Tulangan lentur pada balok prategang*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.7.4.1 Tendon eksternal harus dilekatkan pada komponen struktur sehingga mampu mempertahankan eksentrisitas yang ditetapkan antara tendon dan titik berat beton pada semua rentang lendutan komponen struktur yang diantisipasi.	**R9.7.4.1** Tendon eksternal sering dipasang pada balok beton di berbagai lokasi di antara pengangkuran, seperti tengah bentang, titik perempatan, atau titik pertigaan, untuk pengaruh keseimbangan beban yang diharapkan, untuk tempat kedudukan tendon, atau untuk mengatasi perihal getaran tendon. Pertimbangan harus diberikan pada pengaruh yang disebabkan oleh pergeseran profil tendon dalam hubungan dengan titik berat beton ketika komponen mengalami deformasi akibat pengaruh beban prategang dan beban yang dikerjakan.
9.7.4.2 Jika tulangan nonprategang diperlukan untuk kekuatan lentur, persyaratan pendetailan 9.7.3 harus dipenuhi.	**R9.7.4.2** Penulangan nonprategang harus disalurkan untuk mencapai gaya beban terfaktor. Persyaratan 9.7.3 menentukan bahwa penulangan dengan lekatan diperlukan untuk kekuatan lentur akibat beban terfaktor tersalurkan untuk mencapai gaya tarik atau tekan.
9.7 4.3 *Pemutusan tulangan prategang*	
9.7.4.3.1 Daerah pengakuran pascatarik harus didesain dan didetailkan sesuai 25.9.	
9.7.4.3.2 Angkur pascatarik dan kopler (*coupler*) harus didesain dan didetailkan sesuai 25.8.	
9.7.4.4 *Pemutusan tulangan ulir balok dengan tendon tanpa lekatan*	**R9.7.4.4** *Pemutusan tulangan ulir pada balok dengan tendon tanpa lekatan*
9.7.4.4.1 Panjang tulangan ulir yang diperlukan 7.6.2.3 harus sesuai a) dan b): a) Sekurang-kurangnya $\ell_n/3$ di area momen positif dan dipusatkan di daerah tersebut b) Sekurang-kurangnya $\ell_n/6$ di setiap sisi muka tumpuan	**R9.7.4.4.1** Panjang minimum untuk penulangan dengan lekatan disyaratkan 9.6.2.3. Penelitian (Odello dan Mehta 1967) pada bentang menerus menunjukkan bahwa panjang minimum ini memberikan perilaku memuaskan akibat beban layan dan kondisi beban berfaktor.
9.7.5 *Tulangan torsi longitudinal*	**R9.7.5** *Tulangan torsi longitudinal*
9.7.5.1 Jika tulangan torsi diperlukan, tulangan torsi longitudinal harus didistribusikan di sekeliling sisi sengkang tertutup yang memenuhi 25.7.1.6 atau sengkang pengekang dengan spasi tidak lebih dari 300 mm. Tulangan longitudinal harus berada di dalam sengkang atau	**R9.7.5.1** Tulangan longitudinal diperlukan untuk menahan jumlah gaya tarik longitudinal akibat torsi. Karena gaya bekerja sepanjang titik berat dari penampang, titik berat dari penulangan longitudinal tambahan untuk torsi harus bertemu dengan titik berat dari

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sengkang pengekang, dan sekurang-kurangnya satu tulangan longitudinal atau tendon harus ditempatkan di setiap sudut.	penampang tersebut. Pasal ini mensyaratkan tulangan longitudinal didistribusikan di sekeliling sengkang tertutup. Tulangan longitudial atau tendon diperlukan di setiap sudut sengkang untuk menyediakan pengangkuran bagi kaki sengkang. Tulangan sudut juga ditemukan efektif dalam menyalurkan kekuatan torsional dan mengendalikan retak.
9.7.5.2 Tulangan torsi longitudinal harus memiliki diameter sekurang-kurangnya 0,042 kali spasi tulangan transversal, tapi tidak kurang dari 10 mm.	
9.7.5.3 Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sejarak sekurang-kurangnya $(b_t + d)$ melewati titik yang disyaratkan oleh analisis.	**R9.7.5.3** Jarak $(b_t + d)$ di luar titik di mana tulangan torsi longitudinal dihitung tidak lagi diperlukan adalah lebih besar dari jarak yang digunakan untuk tulangan geser dan lentur karena retak tarik diagonal torsi berkembang dalam bentuk heliks. Jarak yang sama diperlukan 9.7.6.3.2 untuk tulangan torsi transversal.
9.7.5.4 Tulangan torsi longitudinal harus disalurkan pada muka tumpuan pada kedua ujung balok.	**R9.7.5.4** Penulangan torsi longitudinal yang diperlukan pada tumpuan harus diangkur memadai ke tumpuan. Panjang penanaman yang cukup harus disediakan di luar muka bagian dalam dari tumpuan untuk menyalurkan gaya tarik yang diperlukan pada batang tulangan atau tendon. Untuk batang tulangan, ini mungkin memerlukan tulangan kait atau tulangan horizontal bentuk U yang dilewatkan dengan tulangan longitudinal torsi.
9.7.6 *Tulangan transversal*	**R9.7.6** *Tulangan transversal*
9.7.6.1 Umum	
9.7.6.1.1 Tulangan transversal harus sesuai pasal ini. Syarat yang paling ketat harus diterapkan.	
9.7.6.1.2 Pendetailan tulangan transversal harus sesuai 25.7.	
9.7.6.2 Geser	
9.7.6.2.1 Jika diperlukan, tulangan geser harus disediakan menggunakan sengkang, sengkang tertutup, atau tulangan longitudinal yang dibengkokkan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

9.7.6.2.2 Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 9.7.6.2.2.

Tabel 9.7.6.2.2 – Spasi maksimum tulangan geser

V_s	Maksimum s, mm		
		Balok nonprategang	Balok prategang
$\leq 0,33\sqrt{f_c'}b_w d$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f_c'}b_w d$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

9.7.6.2.3 Sengkang miring dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan difungsikan sebagai tulangan geser harus memiliki spasi sehingga setiap garis 45-derajat, menerus $d/2$ ke arah reaksi dari setengah tinggi komponen ke tulangan tarik longitudinal, harus disilang sekurang-kurangnya satu garis tulangan geser.

9.7.6.2.4 Tulangan longitudinal dibengkokkan difungsikan sebagai tulangan geser, jika diteruskan ke daerah tarik, harus menerus dengan tulangan longitudinal dan, jika diteruskan ke daerah tekan, harus diangkur $d/2$ melewati setengah tinggi komponen.

9.7.6.3 *Torsi*

9.7.6.3.1 Jika diperlukan, tulangan torsi transversal harus berupa sengkang tertutup memenuhi 25.7.1.6 atau sengkang pengekang tertutup.

9.7.6.3.2 Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sejarak sekurang-

PENJELASAN

R9.7.6.3 *Torsi*

R9.7.6.3.1 Sengkang harus berupa sengkang tertutup karena retak miring akibat torsi dapat terjadi pada semua sisi suatu komponen.

Dalam kasus suatu penampang beban utamanya adalah torsi, selimut beton luar yang menyelimuti sengkang terlepas pada gaya torsi yang tinggi (Mitchell and Collins 1976). Hal ini membuat sambungan lewatan sengkang tidak efektif, menyebabkan keruntuhan torsi yang prematur (Behera and Rajagopalan 1969). Maka dari itu, sengkang tertutup tidak boleh dibuat dari sepasang sengkang-U yang dirangkai satu sama lain.

R9.7.6.3.2 Jarak $(b_t + d)$ di luar titik yang mana tulangan torsi transversal dihitung tidak diperlukan lagi lebih besar dari yang

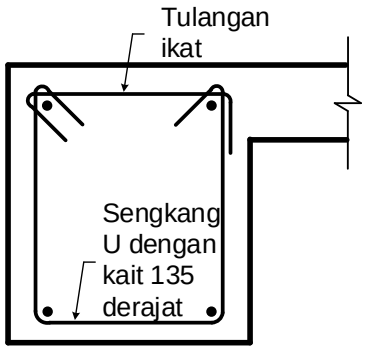
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
kurangnya $(b_t + d)$ melewati titik yang disyaratkan oleh analisis.	digunakan untuk geser dan tulangan lentur karena retak tarik diagonal akibat torsi terjadi dalam bentuk melingkar. Jarak yang sama diperlukan 9.7.5.3 untuk tulangan torsi longitudinal.
9.7.6.3.3 Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi $p_h/8$ dan 300 mm.	**R9.7.6.3.3** Spasi tulangan torsi transversal dibatasi untuk memastikan penyaluran kekuatan torsi pada balok, mencegah kehilangan kekakuan torsional yang besar setelah retak, dan mengontrol lebar retak. Untuk penampang persegi, batasan $p_h/8$ membutuhkan sengkang kurang lebih $d/2$, terkait dengan 9.7.6.2.
9.7.6.3.4 Untuk penampang berlubang, jarak dari garis pusat tulangan torsi transversal ke dalam muka dinding penampang berlubang harus sekurang-kurangnya $0{,}5A_{0h}/p_h$.	**R9.7.6.3.4** Tulangan torsi transversal dalam penampang berlubang harus ditempatkan pada setengah tebal luar dinding yang efektif untuk torsi dimana ketebalan dinding dapat diambil sebesar A_{oh}/p_h.
9.7.6.4 *Dukungan lateral tulangan tekan*	**R9.7.6.4** *Dukungan lateral tulangan tekan*
9.7.6.4.1 Tulangan transversal harus disediakan sepanjang bentang dimana tulangan tekan longitudinal diperlukan. Dukungan lateral tulangan tekan longitudinal harus disediakan sengkang tertutup atau sengkang tertutup sesuai 9.7.6.4.2 hingga 9.7.6.4.4.	**R9.7.6.4.1** Tulangan tekan pada balok harus dilingkupi dengan tulangan transversal untuk mencegah tekuk.
9.7.6.4.2 Ukuran tulangan transversal harus sekurang-kurangnya a) atau b). Kawat ulir atau jaring kawat las dengan luasan yang sama diperbolehkan. a) D10 untuk tulangan longitudinal dengan diameter D32 atau lebih kecil b) D13 untuk tulangan longitudinal dengan diameter D36 dan lebih besar dan untuk bundel tulangan longitudinal.	
9.7.6.4.3 Spasi tulangan transversal harus tidak melebihi sekurang-kurangnya a) hingga c): a) $16d_b$ tulangan longitudinal b) $48d_b$ tulangan transversal c) Dimensi terkecil balok	
9.7.6.4.4 Tulangan tekan longitudinal harus diatur sedemikian hingga tiap sudut	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dan tulangan tekan bergantian harus dikelilingi oleh sudut tulangan transversal dengan sudut tekuk tidak lebih dari 135 derajat, dan jarak bersih antar tulangan sengkang tidak boleh melebihi 150 mm.	
9.7.7 *Tulangan integritas struktur pada balok dicor di tempat.*	**R9.7.7** *Tulangan integritas struktur pada balok dicor di tempat* – Pengalaman telah menunjukkan bahwa integritas keseluruhan struktur dapat ditingkatkan cukup besar dengan perubahan kecil pada pendetailan tulangan dan sambungan. Inilah tujuan dari bagian ini untuk meningkatkan kekuatan dan daktilitas struktur sehingga saat terjadinya kerusakan pada komponen pendukung utama atau kejadian pembebanan abnormal, kerusakan yang terjadi dapat dilokalisir dan struktur memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk menjaga kestabilan secara menyeluruh. Dengan rusaknya tumpuan, tulangan atas menerus melewati tumpuan, namun tidak terkekang oleh sengkang, akan cenderung lepas dari beton dan tidak akan memberikan aksi *catenary* yang diperlukan sebagai rantai pengikat pada tumpuan yang rusak. Dengan membuat sebagian dari tulangan bawah menerus, aksi *catenary* dapat diberikan. Jika tinggi dari suatu balok menerus berubah pada suatu tumpuan, tulangan bawah dalam komponen yang lebih tinggi harus dihentikan ke dalam tumpuan dengan sebuah bengkokan standar atau tulangan berkepala dan tulangan bawah di dalam komponen yang lebih rendah harus diteruskan ke dalam dan tersalurkan sepenuhnya di dalam komponen yang lebih tinggi.
9.7.7.1 Untuk balok sepanjang keliling struktur, tulangan integritas struktur harus sesuai a) hingga c): a) Sekurang-kurangnya seperempat dari tulangan maksimum momen positif, namun tidak kurang dari dua tulangan atau *strand*, harus menerus. b) Sekurang-kurangnya seperenam tulangan momen negatif tumpuan, namun tidak kurang dari dua tulangan atau *strand*, harus menerus.	**R9.7.7.1** Tersedianya tulangan atas dan bawah yang menerus di sekeliling balok atau tepi balok memberikan ikatan menerus di sekeliling struktur. Hal ini bukan bertujuan untuk memberikan suatu ikatan tarik tulangan menerus dengan ukuran tetap disekitar keseluruhan keliling suatu struktur, namun lebih pada keperluan dimana setengah dari tulangan lentur atas diperlukan untuk diperpanjang melewati titik belok oleh 9.7.3.8.4 untuk lebih diperpanjang dan ditekuk pada atau dekat tengah bentang seperti disyaratkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
c) Tulangan longitudinal integritas struktur harus dikelilingi oleh sengkang tertutup sesuai 25.7.1.6 atau sengkang tertutup sepanjang bentang bersih balok.	9.7.7.5. Demikian juga halnya, tulangan bawah perlu diperpanjang ke tumpuan seperti pada 9.7.3.8.2 harus dibuat menerus atau disambung dengan tulangan bawah dari bentang terdekat. Pada tumpuan tidak menerus, tulangan longitudinal diangkur seperti disyaratkan 9.7.7.4. Gambar R9.7.7.1 memperlihatkan sebuah contoh dari sengkang ganda yang memenuhi persyaratan 9.7.7.1c) dan 9.7.7.2b). Kait 90-derajat dari *sengkang tutup* ditempatkan pada sisi pelat sehingga terkekang dengan baik. Sepasang sengkang-U yang berlewatan satu sama lain seperti didefinisikan 25.7.1.7 tidak diizinkan pada balok berangkai atau balok tepi. Dalam kejadian rusaknya sisi selimut beton, tulangan longitudinal atas cenderung untuk lepas dari beton dan tidak akan cukup terkekang oleh sambungan lewatan sengkang yang terbuka. Maka dari itu, tulangan longitudinal tidak akan memberikan aksi *catenary* untuk menjembatani daerah yang runtuh. Lebih jauh, sambungan sengkang-U tidak akan efektif pada torsi tinggi seperti yang didiskusikan pada R9.7.6.3.1.
	 **Gambar R9.7.7.1 – Contoh dari sengkang terdiri atas dua bagian yang memenuhi persyaratan 9.7.7.1c) dan 9.7.7.2b)**
9.7.7.2 Selain balok perimeter, tulangan integritas struktur harus sesuai a) atau b): a) Sekurang-kurangnya seperempat dari tulangan maksimum momen positif, namun tidak kurang dari dua tulangan atau *strand*, harus menerus. b) Tulangan longitudinal harus dikelilingi oleh sengkang tertutup sesuai 25.7.1.6	**R9.7.7.2** Pada tumpuan tidak menerus, tulangan longitudinal diangkur seperti disyaratkan 9.7.7.4 R9.7.7.1 menyediakan contoh sengkang dua-bagian yang memenuhi 9.7.7.2b).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
atau sengkang tertutup sepanjang bentang bersih balok.	
9.7.7.3 Tulangan integritas struktur longitudinal harus melewati daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom.	**R9.7.7.3** Dalam kasus dimana dinding menyediakan dukungan vertikal, tulangan longitudinal harus melewati atau diangkur ke dalam dinding.
9.7.7.4 Tulangan integritas struktur longitudinal pada tumpuan tidak menerus harus diangkur untuk menyalurkan f_y pada muka tumpuan.	
9.7.7.5 Jika sambungan diperlukan tulangan menerus integritas struktur, tulangan harus disambung sesuai a) dan b): a) Tulangan momen positif harus disambung pada atau dekat tumpuan. b) Tulangan momen negatif harus disambung pada atau dekat tengah bentang.	
9.7.7.6 Sambungan harus berupa mekanis penuh, las penuh, atau sambungan lewatan tarik Kelas B.	
9.8 - Sistem pelat berusuk satu arah nonprategang **9.8.1** Umum	**R9.8 - Sistem pelat berusuk satu arah nonprategang** **R.9.8.1** *Umum* – Batas empiris yang ditetapkan untuk lantai pelat berusuk beton bertulang nonprategang didasarkan pada keberhasilan kinerja konstruksi pelat berusuk terdahulu menggunakan sistem pelat berusuk standar. Untuk konstruksi pelat berusuk prategang, aturan ini dapat digunakan sebagai panduan.
9.8.1.1 Konstruksi pelat berusuk satu arah nonprategang terdiri dari sebuah kombinasi monolit rusuk berspasi teratur dan sebuah pelat atas yang didesain membentang ke satu arah.	
9.8.1.2 Lebar rusuk harus sekurang-kurangnya 100 mm pada lokasi manapun diseluruh ketinggian.	
9.8.1.3 Seluruh tinggi rusuk tidak boleh melebihi 3,5 kali lebar minimum.	
9.8.1.4 Spasi bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 750 mm.	**R9.8.1.4** Batasan pada spasi rusuk maksimum disyaratkan karena ketentuan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	mengizinkan kekuatan geser lebih tinggi dan pengurangan selimut beton yang kecil untuk tulangan komponen yang relatif kecil dan berulang.
9.8.1.5 V_c diperbolehkan untuk diambil sebesar 1,1 kali nilai yang dihitung pada 22.5.	**R9.8.1.5** Peningkatan kekuatan geser dibenarkan berdasarkan pada: 1) pemenuhan kinerja konstruksi pelat berusuk yang didesain dengan perhitungan kekuatan geser yang lebih tinggi yang dijelaskan pada standar sebelumnya mengizinkan tegangan geser yang sebanding; dan 2) potensi untuk redistribusi kelebihan beban lokal ke rusuk terdekat.
9.8.1.6 Untuk integritas struktur, sekurang-kurangnya satu tulangan bawah pada setiap pelat berusuk harus menerus dan harus diangkur untuk menyalurkan f_y pada muka tumpuan.	
9.8.1.7 Tulangan tegak lurus rusuk harus disediakan pada pelat seperti yang disyaratkan untuk lentur, mempertimbangkan konsentrasi beban, dan harus sekurang-kurangnya sejumlah yang disyaratkan untuk rangkak dan suhu sesuai 24.4.	
9.8.1.8 Konstruksi pelat berusuk satu arah tidak memenuhi persyaratan 9.8.1.1 hingga 9.8.1.4 harus didesain sebagai pelat dan balok.	
9.8.2 *Sistem pelat berusuk dengan pengisi struktural*	
9.8.2.1 Jika pengisi berupa lempung yang dibakar permanen atau tegel beton dari material yang memiliki kuat tekan sekurang-kurangnya sama dengan f_c' di dalam pelat berusuk yang digunakan, 9.8.2.1.1 dan 9.8.2.1.2 harus digunakan.	
9.8.2.1.1 Ketebalan pelat terhadap pengisi harus sekurang-kurangnya yang terbesar dari seperduabelas jarak bersih di antara rusuk dan 40 mm.	
9.8.2.1.2 Untuk perhitungan geser dan kekuatan momen negatif, diizinkan untuk mengikutsertakan cangkang vertikal dari	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pengisi yang berhubungan dengan rusuk. Bagian pengisi lainnya tidak diikutsertakan dalam perhitungan kekuatan.	
9.8.3 *Sistem pelat berusuk dengan pengisi lainnya*	
9.8.3.1 Jika pengisi tidak sesuai dengan 9.8.2.1 atau digunakan bekesting sementara, ketebalan pelat harus sekurang-kurangnya yang terbesar dari seper-duabelas jarak bersih antara rusuk dan 50 mm.	
9.9 - Balok tinggi	**R9.9 - Balok tinggi**
9.9.1 *Umum*	**R9.9.1** *Umum*
9.9.1.1 Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani satu sisi dan ditopang pada muka yang berlawanan sedemikian hingga komponen tekan seperti-strat dapat terbentuk di antara beban dan tumpuan dan memenuhi a) atau b): a) Bentang bersih tidak melebihi empat kali tinggi keseluruhan komponen h b) Beban terpusat berada dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan.	**R9.9.1.1** Perilaku balok tinggi didiskusikan dalam Schlaich et al. (1987), Rogowsky and MacGregor (1986), Marti (1985), dan Crist (1966). Untuk balok tinggi memikul beban gravitasi, ketentuan ini berlaku jika beban dikerjakan pada bagian atas balok dan balok ditumpu pada sisi bawahnya. Jika beban dikerjakan hingga ke tepi atau bagian bawah komponen tersebut, model *strut and tie*, seperti dijelaskan di Pasal 23 harus digunakan untuk mendesain tulangan yang mentransfer secara internal beban ke sisi atas balok dan mendistribusikannya ke tumpuan terdekat.
9.9.1.2 Balok tinggi harus didesain dengan mempertimbangkan distribusi nonlinear dari regangan longitudinal sepanjang tinggi balok.	**R9.9.1.2** Standar ini tidak berisi syarat mendetail untuk mendesain balok tinggi untuk momen, kecuali jika distribusi regangan nonlinier harus dipertimbangkan. Pedoman untuk desain balok tinggi untuk lentur ada pada Chow et al. (1953), Portland Cement Association (1946) dan Park and Paulay (1975).
9.9.1.3 Model *strut and tie* sesuai Pasal 23 dianggap memenuhi 9.9.1.2.	
9.9.2 *Batasan dimensi*	**R9.9.2** *Batasan dimensi*
9.9.2.1 Dimensi balok tinggi harus dipilih sehingga: $V_u \le \phi 0,83\sqrt{f_c'}\, b_w d$ (9.9.2.1)	**R9.9.2.1** Batasan ini menetapkan suatu aturan dimensional untuk mengontrol retak pada beban layan dan untuk menjaga agar tidak terjadi keruntuhan diagonal tekan pada balok tinggi.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
9.9.3 *Batasan tulangan*	**R.9.9.3** *Batasan tulangan*
9.9.3.1 Tulangan yang terdistribusi sepanjang sisi muka dari balok tinggi harus sekurang-kurangnya disyaratkan a) dan b): a) Luas tulangan yang terdistribusi tegak lurus dengan sumbu longitudinal balok, A_v, harus sekurang-kurangnya $0{,}0025 b_w s$, dimana s adalah spasi tulangan transversal terdistribusi. b) Luas tulangan yang terdistribusi sejajar dengan sumbu longitudinal balok, A_{vh}, harus sekurang-kurangnya $0{,}0025 b_w s_2$, dimana s_2 adalah spasi tulangan longitudinal terdistribusi.	**R.9.9.3.1** Syarat tulangan minimum dalam pasal ini digunakan terlepas dari metode yang digunakan untuk desain dan ditujukan untuk mengontrol lebar dan penjalaran retak miring. Pengujian (Rogowsky and MacGregor 1986; Marti 1985; Christ 1966) telah menunjukkan bahwa tulangan geser vertikal, tegak lurus sumbu longitudinal komponen, lebih efektif untuk kekuatan geser komponen dibandingkan dengan tulangan geser horizontal, sejajar sumbu longitudinal komponen, dalam sebuah balok tinggi; namun, tulangan minimum disyaratkan sama di kedua arah untuk mengontrol pertumbuhan dan lebar retak diagonal.
9.9.3.2 Luas minimum tulangan tarik lentur, $A_{s,min}$, harus ditentukan sesuai 9.6.1.	
9.9.4 *Pendetailan tulangan*	**R9.9.4** *Pendetailan tulangan*
9.9.4.1 Selimut beton harus sesuai 20.6.1.	
9.9.4.2 Spasi minimum untuk tulangan longitudinal harus sesuai 25.2.	
9.9.4.3 Spasi dari tulangan terdistribusi yang disyaratkan 9.9.3.1 harus tidak melebihi yang terkecil dari $d/5$ dan 300 mm.	
9.9.4.4 Pemasangan tulangan tarik harus memperhitungkan distribusi tegangan tulangan yang tidak berbanding lurus dengan momen lentur.	**R9.9.4.4** Pada balok tinggi, tegangan pada tulangan longitudinal lebih merata sepanjang bentang dibandingkan dengan balok atau penampang tidak tinggi. Tegangan yang tinggi pada tulangan biasanya dibatasi di daerah tengah bentang balok tipikal diperpanjang ke tumpuan balok tinggi. Maka dari itu, ujung tulangan longitudinal memerlukan angkur positif dalam bentuk kait standar, kepala tulangan (*bar heads*), atau angkur mekanis lainnya pada tumpuan.
9.9.4.5 Pada tumpuan sederhana, tulangan tarik momen positif harus diangkur untuk menyalurkan f_y pada muka tumpuan. Jika balok tinggi didesain menggunakan Pasal 23, tulangan tarik	**R.9.9.4.5** Penggunaan metode *strut and tie* untuk desain balok tinggi menunjukkan bahwa gaya tarik pada tulangan ikat bawah perlu diangkur pada sisi muka tumpuan. Dari pertimbangan ini, tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
momen positif harus diangkur sesuai 23.8.2 dan 23.8.3.	pengikat harus menerus atau disalurkan pada sisi muka tumpuan (Rogowsky and MacGregor 1986).
9.9.4.6 Pada tumpuan interior, a) dan b) harus terpenuhi: a) Tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik dari bentang disebelahnya. b) Tulangan tarik momen positif harus menerus atau disambung dengan tulangan tarik dari bentang disebelahnya.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 10 – KOLOM

10.1 - Ruang lingkup

10.1.1 Pasal ini ditujukan untuk desain kolom nonprategang, prategang, dan komposit, termasuk pedestal beton bertulang.

10.1.2 Desain pedestal dengan beton polos harus sesuai Pasal 14.

10.2 - Umum

R10.2 - Umum

10.2.1 *Material*

10.2.1.1 Properti beton untuk desain dipilih sesuai Pasal 19.

10.2.1.2 Properti tulangan baja dan struktur baja untuk desain yang digunakan pada kolom komposit dipilih sesuai Pasal 20.

10.2.1.3 Material, desain, dan persyaratan pendetailan penanaman dalam beton harus sesuai 20.7.

10.2.2 *Kolom komposit*

R10.2.2 *Kolom komposit*

10.2.2.1 Jika baja struktural, pipa, atau tabung digunakan sebagai tulangan longitudinal, kolom harus didesain sebagai kolom komposit.

R10.2.2.1 Kolom komposit termasuk bagian struktur baja diselubungi beton dan bagian struktur baja berongga diisi beton. Rujukan metal lainnya yang digunakan untuk tulangan diabaikan karena jarang digunakan pada konstruksi beton.

10.2.3 *Sambungan ke komponen lainnya*

10.2.3.1 Untuk konstruksi cor ditempat, sambungan balok-kolom dan pelat-kolom harus memenuhi Pasal 15.

10.2.3.2 Untuk konstruksi pracetak, sambungan harus memenuhi persyaratan transfer gaya seperti dijelaskan pada 16.2.

10.2.3.3 Sambungan kolom ke pondasi harus memenuhi 16.3.

10.3 - Batasan desain

R10.3 - Batasan desain

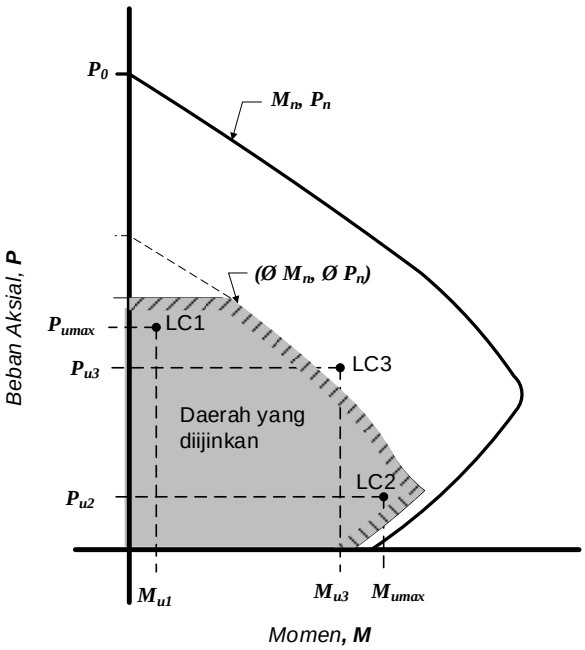
10.3.1 *Batasan dimensi*

R10.3.1 *Batasan dimensi* - Ukuran minimum eksplisit pada kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	beton bertulang dengan penampang kecil untuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika penampang kecil dipakai, diperlukan ketelitian pekerjaan lebih baik, dan tegangan susut meningkat secara signifikan.
10.3.1.2 Untuk kolom dengan penampang lebih besar dari yang dibutuhkan oleh beban yang dipertimbangkan, diperbolehkan untuk mengelompokkan penampang bruto yang dipakai, kebutuhan tulangan, dan kekuatan desain, diambil dari luas efektif tereduksi, tidak kurang dari setengah total area. Ketentuan ini tidak berlaku untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus atau kolom yang tidak termasuk bagian dari sistem penahan gaya seismik harus didesain berdasarkan Pasal 18.	**R10.3.1.2** Dalam beberapa kasus, penampang bruto kolom lebih besar dari yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor. Pada kasus tersebut, rasio tulangan minimum dihitung berdasarkan luas perlu daripada luas yang ada, dimana luas tulangan tidak boleh kurang dari 0,5 persen luas penampang sebenarnya.
10.3.1.3 Untuk kolom dicor secara monolitik dengan dinding beton, batas luar penampang kolom efektif tidak boleh diambil lebih besar dari 40 mm di luar tulangan transversal.	
10.3.1.4 Untuk kolom dengan dua atau lebih tulangan spiral saling terkait, batas luar penampang efektif harus diambil pada jarak di luar spiral sama dengan selimut beton minimum yang disyaratkan.	
10.3.1.5 Jika area efektif tereduksi dipertimbangkan seperti disebutkan 10.3.1.1 hingga 10.3.1.4, analisis struktur dan desain bagian lainnya dari struktur yang berinteraksi dengan kolom harus didasarkan pada penampang aktual.	
10.3.1.6 Untuk kolom komposit dengan inti beton dilapisi oleh baja struktural, ketebalan baja minimum harus memenuhi a) atau b): a) $b\sqrt{\frac{f_y}{3E_s}}$ untuk setiap lebar $\boldsymbol{b}$	**R10.3.1.6** Bagian baja pelapis atau pembungkus beton sebaiknya memiliki dinding yang cukup tebal sehingga tegangan leleh longitudinal tercapai sebelum tekuk keluar (*buckling outward*) terjadi.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) $h\sqrt{\frac{f_y}{8E_s}}$ untuk penampang lingkaran dengan diameter $\boldsymbol{h}$	
10.4 - Kekuatan perlu	**R10.4 - Kekuatan perlu**
10.4.1 *Persyaratan umum*	
10.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung berdasarkan kombinasi beban terfaktor seperti yang disebutkan Pasal 5.	
10.4.1.2 Kekuatan perlu harus dihitung berdasarkan prosedur analisis pada Pasal 6.	
10.4.2 *Gaya aksial dan momen terfaktor*	**R10.4.2** *Gaya aksial dan momen terfaktor*
10.4.2.1 $\boldsymbol{P_u}$ dan $\boldsymbol{M_u}$ terjadi bersamaan untuk setiap kombinasi beban terfaktor harus dipertimbangkan.	**R10.4.2.1** Kombinasi beban kritis cukup sulit untuk dipahami tanpa adanya metode pengecekan pada tiap kombinasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar R10.4.2.1, dengan hanya mempertimbangkan kombinasi beban terfaktor akibat gaya aksial maksimum (LC1) dan momen lentur maksimum (LC2) belum tentu sesuai peraturan desain untuk kombinasi beban lainnya seperti LC3.
	
	Gambar R10.4.2.1 Kombinasi beban kritis kolom
10.5 - Kekuatan desain	**R10.5 - Kekuatan desain**
10.5.1 *Persyaratan Umum*	**R10.5.1** *Persyaratan Umum*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
10.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk a) hingga d). Interaksi antara efek beban harus dipertimbangkan: a) $\phi P_n \geq P_u$ b) $\phi M_n \geq M_u$ c) $\phi V_n \geq V_u$ d) $\phi T_n \geq T_u$	**R10.5.1.1** Mengacu R9.5.1.1.
10.5.1.2 ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	
10.5.2 *Gaya aksial dan momen*	**R10.5.2** *Gaya aksial dan momen*
10.5.2.1 P_n dan M_n harus dihitung sesuai 22.4.	
10.5.2.2 Untuk kolom komposit, gaya-gaya harus ditransfer antara penampang baja dan beton melalui landasan langsung, konektor geser, atau lekatan sesuai kekuatan aksial yang diberikan pada masing-masing komponen.	**R10.5.2.2** Spesifikasi desain AISC (AISC 360-10) memberikan pedoman mengenai penghitungan kapasitas transfer gaya pada kolom komposit. Meskipun lekatan dapat dipertimbangkan sebagai mekanisme transfer gaya, namun hal tersebut tidak sesuai untuk beberapa kasus. Sebagai contoh, lekatan biasanya dipertimbangkan untuk kekuatan kolom komposit terisi beton. Akan tetapi, AISC 360-10 tidak mengizinkan lekatan untuk dipertimbangkan pada kolom beton lapis baja dan tidak mengizinkan lekatan untuk dikombinasikan dengan mekanisme transfer lainnya.
10.5.3 *Geser*	
10.5.3.1 V_n harus dihitung sesuai 22.5.	
10.5.4 *Torsi*	**R10.5.4** *Torsi* – Torsi terjadi pada kolom di bangunan gedung biasanya diabaikan dan jarang menjadi faktor penentu pada desain kolom.
10.5.4.1 Jika $Tu \geq \phi Tth$, dimana T_{th} ditunjukkan 22.7, torsi harus dipertimbangkan sesuai Pasal 9.	
10.6 - Batasan tulangan	**R10.6 - Batasan tulangan**
10.6.1 *Tulangan longitudinal minimum dan maksimum*	**R10.6.1** *Tulangan longitudinal minimum dan maksimum*
10.6.1.1 Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata	**R10.6.1.1** Batasan tulangan ditentukan untuk rasio tulangan longitudinal minimum dan maksimum.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
$f_{pe} < 1,6$ MPa, luas tulangan longitudinal harus sekurang-kurangnya $0,01A_g$, namun tidak boleh melebihi $0,08A_g$.	*Tulangan minimum* – Tulangan minimum tetap diperlukan untuk memberikan tahanan terhadap lentur terlepas dari hasil perhitungan analitis, dan digunakan untuk mengurangi pengaruh rangkak dan susut beton akibat tegangan tekan tetap. Rangkak dan susut cenderung mentransfer beban dari beton ke tulangan, dan hasilnya akan meningkatkan tegangan tulangan menjadi lebih besar bila rasio tulangan diperkecil. Oleh karena itu, penetapan batasan minimum untuk rasio tulangan diatur untuk mencegah pelelehan tulangan akibat beban layan tetap (Richart 1933). *Tulangan maksimum* – Jumlah maksimum tulangan longitudinal dibatasi untuk menjamin bahwa beton dapat terkonsolidasi secara efektif di sekeliling tulangan dan untuk menjamin bahwa kolom yang didesain sesuai peraturan adalah sama seperti benda uji yang dipakai untuk penyesuaian peraturan tersebut. Batasan rasio tulangan sebesar 0,08 ditetapkan pada semua bagian, termasuk bagian sambungan lewatan, dan juga dapat dipakai sebagai pertimbangan praktis untuk keperluan tulangan longitudinal maksimum secara ekonomis serta persyaratan untuk penempatannya. Tulangan longitudinal pada kolom sebaiknya tidak lebih dari 4 persen jika tulangan kolom menggunakan sambungan lewatan, karena zona sambungan lewatan akan mempunyai jumlah tulangan dua kali lipat pada lokasi sambungan bila disambung ditempat yang sama.
10.6.1.2 Untuk kolom komposit dengan inti baja struktural, luas tulangan longitudinal yang berada di dalam tulangan transversal harus sekurang-kurangnya $0,01(A_g - A_{sx})$, namun tidak boleh melebihi $0,08(A_g - A_{sx})$.	**R10.6.1.2** Tulangan longitudinal dan transversal diperlukan untuk mencegah pengelupasan (*spalling*) dan untuk menjamin bahwa beton di luar inti struktur baja bekerja sebagai beton bertulang. Batasan pada tulangan longitudinal diperlukan untuk alasan yang disebutkan R10.6.1.1. Persyaratan tulangan transversal ditentukan 10.7.6.1.4. Untuk kolom komposit dengan inti beton dilapisi struktur baja, tulangan tidak diperlukan. Tebal minimum dinding baja seperti disebutkan 10.3.1.6 secara inheren telah memberikan tulangan minimum yang mencukupi.
10.6.2 *Tulangan geser minimum*	**R10.6.2** *Tulangan geser minimum*

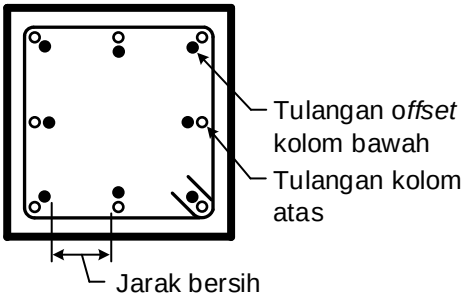
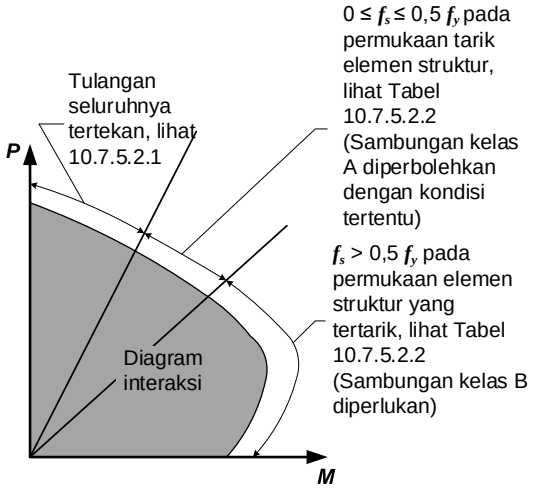
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
10.6.2.1 Luas minimum tulangan geser, $A_{v,min}$, harus disediakan di semua wilayah dimana $Vu > 0,5\ \Phi Vc$	**R10.6.2.1** Dasar untuk tulangan geser minimum yang dipakai untuk kolom dan balok adalah sama. Untuk informasi lebih lanjut, lihat R9.6.3.
10.6.2.2 Bila tulangan geser diperlukan, $A_{v,min}$ harus lebih besar dari a) dan b): a) $0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_{yt}}$ b) $0,35\frac{b_w s}{f_{yt}}$	
10.7 - Pendetailan tulangan	**R10.7 - Pendetailan tulangan**
10.7.1 *Umum*	
10.7.1.1 Selimut beton untuk tulangan harus sesuai 20.6.1.	
10.7.1.2 Panjang lewatan tulangan ulir dan prategang harus sesuai 25.4.	
10.7.1.3 Tulangan bundel harus sesuai 25.6.	
10.7.2 *Spasi tulangan*	
10.7.2.1 Spasi minimum s harus sesuai 25.2.	
10.7.3 *Tulangan longitudinal*	**R10.7.3** Tulangan longitudinal
10.7.3.1 Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata-rata $f_{pe} < 1,6$ MPa, jumlah minimum tulangan longitudinal adalah a), b), atau c): a) Tiga dalam sengkang ikat segitiga b) Empat dalam sengkang ikat segi empat atau lingkaran c) Enam dalam sengkang spiral atau untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus dalam sengkang spiral melingkar	**R10.7.3.1** Sekurang-kurangnya diperlukan 4 tulangan longitudinal bila dipasang pada sengkang ikat segi empat atau lingkaran. Untuk bentuk sengkang ikat lainnya, satu tulangan harus disediakan pada setiap sudut tulangan transversal yang dipakai. Sebagai contoh, kolom dengan sengkang ikat segitiga memerlukan sekurang-kurangnya 3 tulangan longitudinal, dimana tiap tulangan ditempatkan pada tiap sudut sengkang ikat. Untuk tulangan dengan sengkang spiral, sekurang-kurangnya diperlukan 6 tulangan. Jika jumlah tulangan dalam konfigurasi sengkang spiral kurang dari 8 buah, orientasi tulangan akan mempengaruhi kekuatan momen pada kolom terbebani

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

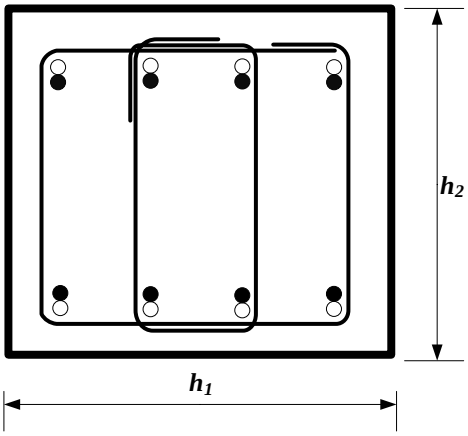
STANDAR	PENJELASAN
	eksentris secara signifikan dan seharusnya dipertimbangkan dalam desain.
10.7.3.2 Untuk kolom komposit dengan inti baja struktural, tulangan longitudinal harus berada pada setiap sudut penampang segi empat, dengan tulangan longitudinal lainnya berjarak tidak lebih dari setengah sisi kolom komposit.	
10.7.4 *Offset bent* tulangan longitudinal	
10.7.4.1 Kemiringan dari sisi miring tekuk geser tulangan longitudinal yang relatif terhadap sumbu longitudinal kolom tidak boleh melebihi 1 banding 6. Bagian atas dan bawah tulangan yang digeser harus sejajar dengan sumbu kolom.	
10.7.4.2 Bila muka kolom digeser sebesar 75 mm atau lebih besar, maka tulangan longitudinal tidak boleh ditekuk geser dan harus disediakan pasak terpisah, sambungan lewatan tulangan longitudinal berada di dekat muka kolom.	
10.7.5 *Sambungan tulangan longitudinal*	**R10.7.5** *Sambungan tulangan longitudinal*
10.7.5.1 *Umum*	**R10.7.5.1** *Umum*
10.7.5.1.1 Sambungan lewatan, sambungan mekanis, sambungan las tumpul (*butt-welded*), dan sambungan tumpuan ujung dapat diizinkan.	
10.7.5.1.2 Sambungan tulangan harus memenuhi semua persyaratan kombinasi beban terfaktor.	**R10.7.5.1.2** Pada umumnya, kombinasi beban gravitasi akan menentukan desain kolom itu sendiri, namun pengaruh kombinasi beban akibat angin atau gempa memberikan kondisi tarik pada tulangan lebih besar. Tiap sambungan tulangan harus didesain untuk gaya tarik tulangan maksimum.
10.7.5.1.3 Sambungan tulangan ulir harus sesuai 25.5 dan harus memenuhi persyaratan 10.7.5.2 untuk sambungan lewatan atau 10.7.5.3 untuk sambungan tumpuan ujung.	**R10.7.5.1.3** Untuk tujuan perhitungan ℓ_d pada sambungan lewatan tarik kolom dengan *offset* tulangan, ilustrasi untuk jarak bersih antar tulangan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar R10.7.5.1.3.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R10.7.5.1.3 – *Offset* tulangan kolom**
10.7.5.2 *Sambungan lewatan*	**R10.7.5.2** *Sambungan lewatan* – Pada kolom terkena momen dan gaya aksial, tegangan tarik dapat terjadi di salah satu muka kolom akibat eksentrisitas sedang dan besar seperti pada Gambar R10.7.5.2. Jika tegangan tersebut terjadi, maka 10.7.5.2.2 mensyaratkan penggunaan sambungan tarik. Persyaratan sambungan telah dirumuskan dengan dasar bahwa sambungan lewatan tekan memiliki kekuatan tarik sekurang-kurangnya $\mathbf{0{,}25}f_y$. Sehingga, jika tulangan kolom didesain sebagai kolom tekan sesuai 10.7.5.2.1, kapasitas kekuatan tarik secara inheren juga harus tersedia.  **Gambar R10.7.5.2 – Persyaratan sambungan lewatan untuk kolom**
10.7.5.2.1 Jika gaya pada tulangan akibat beban terfaktor adalah tekan, maka sambungan lewatan tekan diizinkan untuk digunakan. Panjang sambungan lewatan tekan diizinkan untuk dikurangi sesuai a) atau b), tetapi panjang sambungan lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm.	**R10.7.5.2.1** Panjang lewatan tereduksi diperbolehkan jika seluruh panjang sambungan dikelilingi oleh sengkang ikat yang cukup. Luas kaki sengkang ikat yang tegak lurus pada tiap arahnya dihitung secara terpisah. Suatu contoh ditunjukkan pada Gambar R10.7.5.2.1, di mana

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Untuk kolom dengan sengkang ikat, di mana sengkang sepanjang sambungan lewatan mempunyai luas efektif tidak kurang dari $0{,}0015h_s$ di kedua arah, panjang sambungan lewatan diizinkan untuk dikalikan dengan 0,83. Kaki sengkang yang tegak lurus terhadap dimensi h harus dipertimbangkan dengan menghitung luas efektifnya. b) Untuk kolom dengan sengkang spiral, di mana sengkang spiral sepanjang sambungan lewatan harus memenuhi 25.7.3, panjang sambungan lewatan dapat diizinkan untuk dikalikan dengan 0,75.	terdapat empat kaki efektif dalam satu arah dan dua kaki dalam arah lainnya. Panjang lewatan tekan dapat juga dikurangi apabila seluruh panjang sambungan lewatan dikelilingi oleh sengkang spiral karena adanya tambahan tahanan belah beton.



Arah 1: 4 $A_b \geq 0{,}0015\ h_1 s$
Arah 2: 2 $A_b \geq 0{,}0015\ h_2 s$
Dimana A_b merupakan luas sengkang

Gambar R10.7.5.2.1 – Contoh aplikasi dari 10.7.5.2.1(a)

10.7.5.2.2 Jika gaya pada tulangan akibat beban terfaktor adalah tarik, sambungan lewatan tarik harus sesuai Tabel 10.7.5.2.2.

Tabel 10.7.5.2.2 – Kelas sambungan lewatan Tarik

Tegangan tulangan tarik	Pendetailan sambungan	Tipe sambungan
$\leq 0,5\ f_y$	≤ 50% tulangan disambung pada sebarang penampang dan sambungan lewatan yang berdekatans harus dipasang selang-seling (*staggered*) setidaknya sejarak ℓ_d	Kelas A
	Lainnya	Kelas B
$> 0,5\ f_y$	Semua kasus	Kelas B

10.7.5.3 *Sambungan tumpuan ujung*

10.7.5.3.1 Jika gaya pada tulangan akibat beban terfaktor adalah tekan, sambungan tumpuan ujung diizinkan untuk digunakan

R10.7.5.3 *Sambungan tumpuan ujung*

R10.7.5.3.1 Pendetailan sambungan tumpuan ujung ditentukan 25.5.6.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
selama sambungan dibuat secara selang-seling atau disediakan tulangan tambahan pada daerah sambungan. Tulangan menerus di setiap muka kolom harus memiliki kekuatan tarik setidaknya $\mathbf{0{,}25}f_y$ dikalikan dengan luas tulangan vertikal di sepanjang muka kolom tersebut.	
10.7.5.3.2 Untuk kolom komposit, ujung inti baja struktural harus disiapkan secara akurat untuk ditumpukan pada sambungan tumpuan ujung, dengan ketentuan positif untuk menyejajarkan bagian inti atas dan yang lainnya dalam kontak konsentris. Tumpuan (*bearing*) hanya efektif menyalurkan gaya tekan inti baja tidak lebih dari 50 persen.	**R10.7.5.3.2** Batas 50 persen pada transfer beban tekan di tumpuan ujung pada bagian inti struktur baja diperlukan untuk memberikan tingkatan kekuatan tarik pada sambungan hingga 50 persen, karena sisa total beban tekan inti baja akan ditransmisikan oleh pelat sambung, las, dan mekanisme lainnya, ketentuan ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa sambungan pada kolom komposit telah memenuhi persyaratan kekuatan tarik yang sama dengan kolom beton bertulang konvensional.
10.7.6 *Tulangan transversal*	**R10.7.6** *Tulangan transversal*
10.7.6.1 *Umum*	**R10.7.6.1** *Umum*
10.7.6.1.1 Tulangan transversal harus memenuhi persyaratan paling ketat untuk spasi tulangan.	
10.7.6.1.2 Pendetailan tulangan transversal untuk sengkang ikat harus sesuai 25.7.2, untuk sengkang spiral harus sesuai 25.7.3 untuk tulangan spiral, dan untuk sengkang tertutup harus sesuai 25.7.4.	
10.7.6.1.3 Untuk kolom prategang dengan nilai rata-rata $f_{pe} \geq \mathbf{1{,}6}$ **MPa**, sengkang ikat dan sengkang tertutup tidak perlu memenuhi persyaratan jarak $\mathbf{16}d_b$ dari 25.7.2.1.	
10.7.6.1.4 Untuk kolom komposit dengan inti baja struktural, sengkang ikat atau sengkang tertutup harus memiliki diameter tulangan d_b minimum 0,02 kali sisi terbesar dari sisi kolom komposit, tetapi tidak kurang dari D10 dan tidak perlu lebih besar dari D16. Spasi tulangan harus sesuai 25.7.2.1, namun tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi terkecil kolom komposit. Kawat ulir atau	**R10.7.6.1.4** Penelitian (Tikka and Mirza 2006) menunjukkan bahwa jumlah sengkang ikat yang disyaratkan di sekitar inti struktur baja sudah memadai untuk tulangan longitudinal untuk dimasukkan dalam kekuatan lentur kolom komposit seperti ditetapkan 6.2.5.2 dan 6.6.4.4.5.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
kawat las dengan luasan ekuivalen dapat diizinkan.	
10.7.6.1.5 Tulangan longitudinal harus diikat secara lateral dengan menggunakan sengkang ikat atau sengkang tertutup berdasarkan 10.7.6.2 atau sengkang spiral sesuai 10.7.6.3, kecuali bila pengujian dan analisis struktur menunjukkan kekuatan yang cukup dan kemudahan pekerjaan.	**R10.7.6.1.5** Semua tulangan longitudinal tekan harus berada di dalam tulangan transversal. Di mana tulangan longitudinal diatur dalam pola melingkar, hanya satu sengkang ikat lingkaran diperlukan untuk setiap spasi yang disyaratkan. Persyaratan ini dapat dipenuhi dengan penggunaan sengkang spiral menerus (heliks), dengan spasi maksimum sama dengan spasi sengkang ikat perlu. Pemasangan serangkaian sengkang ikat pada tiap ujung tulangan sambungan lewatan diperlukan, baik pada bagian atas dan bawah sambungan tumpuan ujung, dan pada spasi minimum tepat di bawah sisi miring tulangan tekuk geser (*offset bent*). Kolom pracetak dengan tebal selimut beton kurang dari 40 mm, kolom prategang tanpa tulangan longitudinal, kolom beton dengan agregat kasar berukuran kecil, kolom berupa dinding, dan kolom tidak biasa lainnya memerlukan desain tulangan transversal khusus.
10.7.6.1.6 Jika baut angkur ditempatkan di atas kolom atau pedestal, maka tulangan transversal harus dipasang mengelilingi baut dan juga mengelilingi paling sedikit empat buah tulangan longitudinal di dalam kolom atau pedestal. Tulangan transversal harus didistribusikan 125 mm dari atas kolom atau pedestal dan harus terdiri dari sekurang-kurangnya dua tulangan D13 atau tiga tulangan D10.	**R10.7.6.1.6** Pengekangan meningkatkan transfer beban dari baut angkur ke kolom atau pier di mana beton mengalami retak di sekitar baut. Retak beton tersebut dapat terjadi akibat gaya tak terduga yang disebabkan oleh suhu, susut terkekang, dan efek serupa.
10.7.6.2 *Ikatan lateral tulangan longitudinal dengan sengkang ikat atau sengkang pengekang*	**R10.7.6.2** *Ikatan lateral tulangan longitudinal dengan sengkang ikat atau sengkang pengekang*
10.7.6.2.1 Pada setiap lantai, sisi bawah sengkang ikat atau sengkang pengekang harus dipasang tidak lebih dari setengah jarak spasi sisi atas sengkang ikat atau sengkang pengekang dari pondasi telapak atau pelat.	
10.7.6.2.2 Pada setiap lantai, sisi atas sengkang ikat atau sengkang pengekang harus dipasang tidak lebih dari setengah jarak spasi sengkang ikat atau sengkang	**R10.7.6.2.2** Untuk kolom segi empat, balok, atau braket yang merangka pada keempat sisi pada elevasi yang sama dipertimbangkan dapat memberikan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pengekang di bawah tulangan horizontal terendah pada pelat, drop panel, maupun penutup geser (*shear cap*). Bila balok atau konsol menempel ke semua sisi kolom, bagian atas sengkang ikat atau sengkang pengekang harus dipasang tidak lebih dari 75 mm di bawah tulangan horizontal terendah pada balok atau konsol paling tipis.	tahanan di tinggi *joint* yang sama dengan balok atau braket paling tipis. Untuk kolom dengan bentuk lainnya, empat balok yang merangka pada kolom dari dua arah ortogonal dianggap memberikan tahanan yang ekuivalen.
10.7.6.3 *Ikatan lateral tulangan longitudinal dengan sengkang spiral*	**R10.7.6.3** *Ikatan lateral tulangan longitudinal dengan sengkang spiral*
10.7.6.3.1 Pada setiap lantai, bagian bawah sengkang spiral harus dipasang pada bagian atas dari pondasi telapak atau pelat.	
10.7.6.3.2 Pada setiap lantai, bagian atas sengkang spiral harus dipasang sesuai Tabel 10.7.6.3.2.	**R10.7.6.3.2** Lihat R10.7.6.2.2.

Tabel 10.7.6.3.2 – Persyaratan perpanjangan sengkang spiral di bagian atas kolom

Rangka ujung kolom	Persyaratan perpanjangan
Balok atau konsol menempel pada semua sisi kolom	Diperpanjang sampai pada level tulangan horizontal terendah pada komponen yang ditumpu di atas
Balok atau konsol tidak menempel pada semua sisi kolom	Diperpanjang sampai pada level tulangan horizontal terendah pada komponen yang ditumpu di atas. Sengkang ikat tambahan pada kolom harus diperpanjang di atas pemberhentian tulangan spiral sampai ke bawah pelat, drop panel, dan penutup geser
Kolom dengan kepala kolom	Diperpanjang sampai pada level di mana diameter atau lebar kepala kolom dua kali lebih besar dari kolom

10.7.6.4 *Ikatan lateral pada tulangan tekuk geser*

10.7.6.4.1 Bila tulangan longitudinal digeser, ikatan horizontal harus disediakan oleh sengkang ikat, sengkang pengekang, sengkang spiral, atau bagian konstruksi lantai dan harus didesain untuk menahan 1,5 kali komponen horizontal dari gaya

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

yang dihitung pada bagian miring dari tulangan yang digeser.

10.7.6.4.2 Jika tulangan transversal disediakan untuk menahan gaya yang dihasilkan dari tulangan tekuk geser, sengkang ikat, sengkang pengekang, maupun sengkang spiral, maka harus ditempatkan tidak lebih dari 150 mm dari titik bengkokkan.

10.7.6.5 *Geser*

10.7.6.5.1 Jika diperlukan, tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengekang, atau sengkang spiral.

10.7.6.5.2 Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai Tabel 10.7.6.5.2

Tabel 10.7.6.5.2 – Persyaratan spasi maksimum tulangan geser

V_s	Spasi maksimum, s, mm		
		Kolom nonprategang	Kolom prategang
$\leq 0,33\sqrt{f_c'}b_w d$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f_c'}b_w d$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 11 – DINDING

11.1 - Ruang lingkup

11.1.1 Pasal ini harus digunakan pada desain dinding prategang dan nonprategang meliputi a) hingga c):

a) Cor di tempat.
b) Pracetak di pabrik.
c) Pracetak di lapangan meliputi *tilt up.*

11.1.2 Desain dinding struktural spesial harus sesuai dengan persyaratan Pasal 18.

11.1.3 Desain dinding beton polos harus sesuai dengan persyaratan Pasal 14.

11.1.4 Desain dinding penahan kantilever harus sesuai dengan 22.2 hingga 22.4, dengan tulangan horizontal minimum sesuai dengan 11.6.

11.1.5 Desain dari dinding yang berfungsi sebagai balok *sloof* harus sesuai dengan 13.3.5.

11.2 – Umum

11.2.1. *Material*

R11.1- Ruang lingkup

R11.1.1 Pasal ini berlaku secara umum untuk dinding sebagai komponen penahan gaya vertikal dan lateral. Ketentuan untuk geser sebidang pada dinding struktural biasa, sebagai lawan dari dinding struktural khusus yang sesuai dengan 18.10, termasuk dalam pasal ini.

R11.1.2 Dinding struktural khusus didetailkan sesuai dengan ketentuan 18.10. Standar ini menggunakan istilah yang sama antara “dinding struktural” dengan “dinding geser”. Ketika istilah “dinding geser” tidak didefinisikan di standar ini, definisi dinding struktural di Pasal 2 menyatakan bahwa “dinding geser adalah dinding struktural.”

SNI 1726 mendefinisikan dinding struktural sebagai dinding yang memenuhi definisi sebagai dinding penumpu atau dinding geser. Dinding penumpu diartikan sebagai dinding yang mendukung beban vertikal yang melampaui nilai ambang batas tertentu. Dinding geser didefinisikan sebagai dinding, penumpu atau bukan penumpu, yang didesain untuk menahan gaya lateral yang terjadi pada bidang dinding. Definisi dari SNI 1726 telah diterima secara luas.

R11.2 - Umum

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
11.2.1.1 Properti desain beton harus dipilih sesuai dengan Pasal 19.	
11.2.1.2 Properti desain baja tulangan harus dipilih sesuai dengan Pasal 20.	
11.2.1.3 Persyaratan material, desain dan pendetailan beton harus sesuai dengan 20.7.	
11.2.2 *Sambungan dengan komponen lainnya*	
11.2.2.1 Untuk dinding pracetak, sambungan harus didesain sesuai dengan 16.2.	
11.2.2.2 Sambungan dinding dan fondasi harus memenuhi persyaratan 16.3.	
11.2.3 *Distribusi Beban*	
11.2.3.1 Kecuali bila ditunjukkan oleh hasil analisis, panjang horizontal dinding yang dianggap efektif menahan setiap beban terpusat, harus dipilih nilai terkecil dari jarak pusat ke pusat antara beban, dan lebar tumpuan ditambah dengan empat kali ketebalan dinding. Panjang horizontal efektif tumpuan harus tidak melebihi sambungan vertikal dinding kecuali hasil desain menyediakan transfer gaya sepanjang sambungan.	
11.2.4 *Elemen-elemen yang berpotongan*	**R11.2.4** *Elemen-elemen yang berpotongan*
11.2.4.1 Dinding harus diangkur pada elemen – elemen yang berpotongan seperti lantai dan atap; kolom, pilaster, penopang atau dinding yang berpotongan; dan ke fondasi.	**R11.2.4.1** Dinding yang tidak tergantung pada elemen yang berpotongan sebagai penumpu, tidak harus terhubung ke elemen tersebut. Merupakan hal yang umum untuk memisahkan dinding penahan yang besar dari dinding yang berpotongan untuk mengakomodasi perbedaan deformasi.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

11.3 - Batasan Desain

11.3.1 *Ketebalan dinding minimum*

11.3.1.1 Ketebalan dinding minimum harus sesuai dengan Tabel 11.3.1.1. Dinding yang lebih tipis diizinkan bila hasil analisis struktur menunjukkan kekuatan dan stabilitas yang mencukupi.

Tabel 11.3.1.1 – Tebal minimum dinding *h*

Tipe dinding	Ketebalan minimum *h*		
Tumpu[1]	Terbesar dari	100 mm	(a)
		1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(b)
Bukan tumpu	Terbesar dari	100 mm	(c)
		1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(d)
Basemen dan fondasi eksterior [1]	190 mm		(e)

[1]Hanya berlaku untuk dinding yang didesain sesuai dengan metode desain sederhana pada 11.5.3.

11.4 Kekuatan perlu

11.4.1 *Umum*

11.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan kombinasi pembebanan terfaktor pada Pasal 5.

11.4.1.2 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan prosedur analisis pada Pasal 6.

11.4.1.3 Efek kelangsingan harus dihitung sesuai dengan 6.6.4, 6.7 atau 6.8. Sebagai alternatif, analisis kelangsingan di arah tak sebidang diizinkan sesuai dengan 11.8 untuk dinding yang sesuai dengan persyaratan pada pasal tersebut.

PENJELASAN

R11.3 - Batasan Desain

R11.3.1 *Ketebalan dinding minimum*

R11.3.1.1 Persyaratan ketebalan minimum tidak perlu diterapkan pada dinding penumpu dan eksterior basemen dan dinding fondasi yang didesain sesuai 11.5.2 atau dianalisis oleh 11.8.

R11.4 Kekuatan perlu

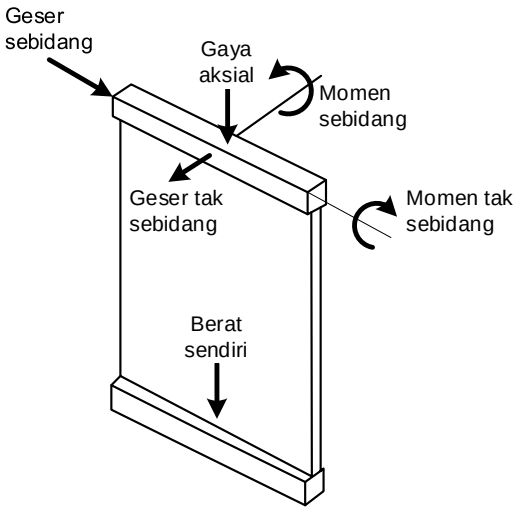
R11.4.1 *Umum*

R11.4.1.3 Gaya yang biasanya terjadi pada dinding diilustrasikan pada gambar R11.4.1.3.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R11.4.1.3 – Gaya sebidang dan tak sebidang

11.4.1.4 Dinding harus didesain untuk beban aksial eksentris dan semua beban lateral atau beban lain yang bekerja pada dinding tersebut.

11.4.2 *Gaya aksial dan momen terfaktor*

11.4.2.1 Dinding harus didesain untuk menahan momen maksimum terfaktor M_u yang disertai dengan beban aksial terfaktor untuk setiap kombinasi pembebanan. Beban aksial terfaktor P_u yang diberikan dengan eksentris yang ada tidak boleh melebihi $\phi P_{n,max}$ di mana $P_{n,max}$ harus sesuai dengan 22.4.2.1 dan faktor reduksi kekuatan ϕ harus untuk penampang terkontrol – tekan sesuai dengan 21.2.2. Momen maksimum terfaktor M_u harus diperbesar dengan efek kelangsingan sesuai dengan 6.6.4, 6.7 atau 6.8.

11.4.3 *Geser terfaktor*

11.4.3.1 Dinding harus didesain untuk gaya geser maksimum sebidang V_u dan tak sebidang V_u.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
11.5 - Kekuatan desain **11.5.1** *Umum*	**R11.5 - Kekuatan desain**
11.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor, kekuatan desain harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk a) hingga c). Interaksi antara beban aksial dan momen harus diperhatikan. a) $\phi P_n \geq P_u$ b) $\phi M_n \geq M_u$ c) $\phi V_n \geq V_u$	
11.5.1.2 Nilai ϕ harus ditentukan sesuai dengan 21.2.	
11.5.2 *Beban aksial dan lentur sebidang dan tak sebidang*	**R11.5.2** *Beban aksial dan lentur sebidang dan tak sebidang*
11.5.2.1 Untuk dinding penumpu, P_n dan M_n (sebidang dan tak sebidang) harus dihitung sesuai dengan 22.4. Sebagai alternatif, beban aksial dan lentur tak sebidang harus diizinkan untuk diperhatikan sesuai dengan 11.5.3.	
11.5.2.2 Untuk dinding bukan penumpu, M_n harus dihitung sesuai dengan 22.3	**R11.5.2.2** Dinding bukan penumpu (*non-bearing)*, secara definisi, tidak memikul gaya aksial yang berarti; maka, kekuatan lentur tidak tergantung dari gaya aksial.
11.5.3 *Beban aksial dan lentur tak sebidang - metode desain sederhana*	**R11.5.3** *Beban aksial dan lentur tak sebidang – metode desain sederhana*
11.5.3.1 Jika resultan dari semua beban terfaktor terletak di sepertiga tengah tebal dari dinding solid dengan penampang persegi, P_n diizinkan untuk dihitung dengan menggunakan perumusan berikut: $P_n = 0,55 f_c' A_g \left[1 - \left(\frac{k\ell_c}{32h}\right)^2\right]$ (11.5.3.1)	**R11.5.3.1** Metode desain sederhana berlaku hanya pada penampang bujursangkar yang solid; bentuk lain hendaknya didesain sesuai 11.5.2. Beban aksial eksentris dan momen akibat gaya tak sebidang digunakan untuk menghitung eksentrisitas total maksimum pada gaya aksial terfaktor P_u. Ketika resultan gaya aksial untuk semua kombinasi beban yang bekerja terletak pada sepertiga ketebalan dinding (eksentrisitas tidak lebih besar dari $h/6$) pada semua bagian sepanjang dinding yang tidak berdeformasi, tidak ada gaya tarik yang dihasilkan pada dinding dan metode desain sederhana dapat digunakan. Desain tersebut

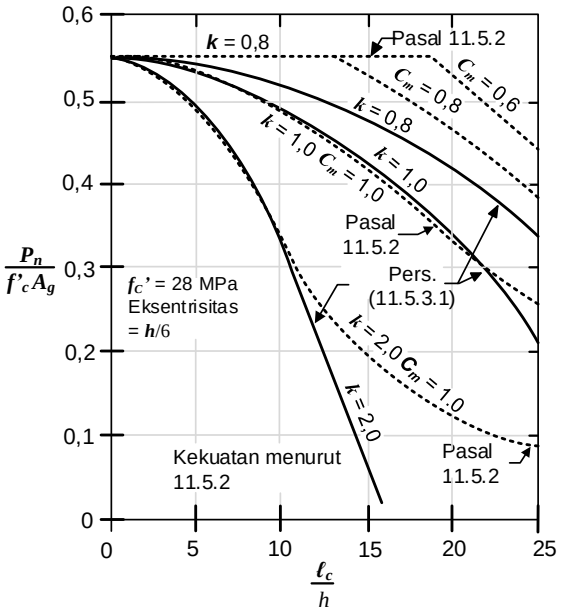
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

kemudian dilakukan dengan mempertimbangkan P_u sebagai gaya aksial konsentris. Gaya aksial terfaktor P_u hendaknya kurang dari atau sama dengan kekuatan desain aksial ϕP_n yang dihitung menggunakan Pers. (11.5.3.1).

Pers. (11.5.3.1) menghasilkan kekuatan yang sebanding dengan yang ditentukan sesuai dengan 11.5.2 untuk elemen yang dibebani di sepertiga ketebalan dinding dengan kondisi pengaku dan kekangan ujung dinding yang berbeda. Mengacu pada Gambar R11.5.3.1



Gambar R11.5.3.1 – Desain dinding sederhana, Pers. 11.5.3.1 versus 11.5.2

11.5.3.2 Faktor panjang efektif k yang digunakanpada Pers. (11.5.3.1) harus sesuai dengan Tabel 11.5.3.2.

Tabel 11.5.3.2 – Faktor panjang efektif k untuk dinding

Kondisi batas	k
Dinding tertahan pada bagian atas dan bawah terhadap translasi lateral	
(a) Tertahan terhadap rotasi pada satu atau kedua ujungnya (atas, bawah atau keduanya)	0,8
(b) Tidak tertahan terhadap rotasi pada kedua ujungnya	1,0

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

Dinding tidak tertahan terhadap translasi lateral	2,0

11.5.3.3 P_n dari Pers. (11.5.3.1) harus direduksi dengan ϕ untuk penampang terkontrol – tekan sesuai 21.2.2.

11.5.3.4 Penulangan dinding paling tidak harus memenuhi persyaratan 11.6.

11.5.4. *Geser sebidang*

11.5.4.1 V_n harus dihitung sesuai 11.5.4.2 hingga 11.5.4.8. Sebagai alternatif, untuk dinding dengan $h_w \leq 2\,\ell_w$, harus diizinkan desain geser sebidang dengan metode *strut-and-tie* sesuai Pasal 23. Untuk semua kasus, tulangan harus memenuhi batasan 11.6, 11.7.2 dan 11.7.3.

R11.5.4. *Geser sebidang*

R11.5.4.1 Geser sebidang pada dinding adalah yang paling penting untuk dinding struktur dengan rasio tinggi dan panjang yang kecil. Desain untuk dinding yang lebih tinggi, terutama untuk dinding dengan tulangan terdistribusi seragam, yang kemungkinan besar akan terkontrol lentur. Pengecualian dapat terjadi pada dinding struktur tinggi yang yang menerima beban gempa kuat.

11.5.4.2 Untuk desain geser sebidang, ketebalan dinding, h, dan d harus diambil sama dengan $0{,}8\ell_w$. Nilai d yang lebih besar dapat diambil sama dengan jarak terjauh dari serat tertekan ke pusat gaya dari semua tulangan tarik bila dihitung dengan analisis kompabiitas regangan.

11.5.4.3 V_n pada semua penampang horizontal harus tidak boleh melebihi $0{,}83\sqrt{f_c'}hd$

R11.5.4.3 Batasan ini ditujukan untuk menjaga terhadapa kegagalan tekan diagonal pada dinding geser.

1.5.4.4 V_n harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s \qquad (11.5.4.4)$$

11.5.4.5 Kecuali perhitungan yang lebih detail dilakukan sesuai dengan 11.5.4.6, untuk dinding yang dibebani dengan beban aksial tekan, V_c tidak boleh melebihi $0{,}17\lambda\sqrt{f_c'}hd$ untuk dinding yang dibebani dengan beban aksial tarik V_c tidak boleh melebihi nilai yang telah ditetapkan pada 22.5.7.

11.5.4.6 Diizinkan untuk menghitung V_c sesuai dengan Tabel 11.5.4.6, di mana nilai N_u positif untuk untuk tekan

R11.5.4.6 Rumus (a) hingga (e) pada Tabel 11.5.4.6 dapat digunakan untuk mendapatkan V_c pada penampang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dan negatif untuk tarik, dan nilai dari N_u/A_g dalam satuan MPa.	manapun di dinding geser. Rumus (d) berhubungan dengan keretakan geser badan pada tegangan tarik utama sekitar $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ pada titik berat dari penampang dinding geser. Rumus (e) berhubungan dengan keretakan geser-lentur pada tegangan tarik lentur $0,5\lambda\sqrt{f_c'}$ pada bagian $\ell_w/2$ di atas bagian yang sedang diinvestigasi. Ketika suku $M_u/V_u - \ell_w/2$ berkurang, (d) akan mengendalikan, (d) hendaknya digunakan walau suku ini hasilnya menjadi negatif.

Tabel 11.5.4.6 – V_c: Dinding prategang dan nonprategang

Opsi perhitungan	Beban aksial	V_c		
Sederhana	Tekan	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}hd$		(a)
	Tarik	Terbesar dari:	$0,17\left(1+\frac{0,29N_u}{A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}hd$	(b)
			0	(c)
Detail	Tarik maupun tekan	Terkecil dari:	$\left[0,05\lambda\sqrt{f_c'}+\frac{\ell_w\left(0,1\lambda\sqrt{f_c'}+0,2\frac{N_u}{\ell_w h}\right)}{\frac{M_u}{V_u}-\frac{\ell_w}{2}}\right]hd$ Persamaan tidak perlu digunakan jika $(M_u/V_u - \ell_w/2)$ adalah negatif.	(e)
			$0,27\lambda\sqrt{f_c'}hd+\frac{N_u d}{4\ell_w}$	(d)

11.5.4.7 Penampang yang terdekat dengan dasar dinding dengan jarak terkecil di antara $\ell_w/2$ atau setengah tinggi dinding, diizinkan desain untuk V_c yang dihitung dengan menggunakan opsi perhitungan detail pada Tabel 11.5.4.6 pada jarak terkecil di antara $\ell_w/2$ atau setengah tinggi dinding di atas dasar dinding.

R11.5.4.7 Nilai V_c dihitung dari (d) dan (e) pada Tabel 11.5.4.6 pada bagian yang terletak di atas dasar dari $\ell_w/2$ atau $h_w/2$, diambil nilai terkecil, diterapkan pada bagian tersebut dan semua bagian di antara bagian tersebut dan dasar. Namun, gaya geser terfaktor maksimum V_u pada bagian manapun, termasuk pada dasar dinding, dibatasi oleh batas atas V_n sesuai dengan 11.5.4.3.

11.5.4.8 V_s harus disediakan dengan menggunakan tulangan geser melintang dan harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

R11.5.4.8 Persamaan (11.5.4.8) disajikan dalam bentuk kekuatan geser V_s yang dihasilkan dari tulangan geser horizontal untuk penerapan langsung 11.5.4.4.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$ (11.5.4.8)	Tulangan geser vertikal hendaknya juga dipasang sesuai dengan 11.6 dan batasan spasi tulangan sesuai dengan 11.7.2.
11.5.5 *Geser tak sebidang*	
11.5.5.1 V_n harus dihitung sesuai 22.5.	
11.6 - Batasan tulangan	**R11.6 - Batasan tulangan**
11.6.1 Bila gaya geser sebidang $V_u \leq 0{,}5\phi V_c$, maka niai ρ_ℓ dan ρ_t minimum harus sesuai dengan Tabel 11.6.1. batasan ini dapat tidak dipenuhi bila hasil analisis menunjukkan kekuatan dan stabilitas telah mencukupi.	**R11.6.1** Tulangan geser horizontal dan vertikal disyaratkan untuk semua dinding. Tulangan yang terdistribusi biasanya dengan orientasi paralel terhadap sumbu memanjang atau melintang sebuah dinding. Maka, untuk segmen dinding vertikal, notasi digunakan untuk menggambarkan rasio tulangan yang terdistribusi secara horizontal adalah ρ_t, dan notasi yang digunakan untuk menggambarkan rasio tulangan yang terdistribusi secara vertikal adalah ρ_ℓ. Tulangan melintang tidak disyaratkan untuk dinding pracetak dan prategang dengan lebar kurang dari atau sama dengan 3,7 meter, karena lebar tersebut tidak menyebabkan tegangan susut dan suhu yang mengindikasikan perlunya dipasang tulangan melintang. Selain itu, kebanyakan penyusutan terjadi sebelum elemen tersebut terhubung dengan strukturnya. Pada struktur yang telah selesai, hubungan antar elemen biasanya tidak lebih kaku dari beton monolit; sehingga, tegangan kekangan melintang akibat perubahan susut dan suhu telah berkurang secara signifikan. Luas minimum tulangan dinding untuk dinding pracetak telah digunakan bertahun-tahun dan direkomendasikan oleh *Precast/Prestressed Concrete Institute* (PCI MNL-120) dan *Canadian Concrete Design Standard* (2009). Pengurangan penulangan minimum dan perlebaran spasi tulangan pada 11.7.2.2 adalah diizinkan dengan diketahui bahwa panel dinding pracetak yang memiliki kekangan yang sangat kecil pada ujung-ujungnya pada tahap awal perawatan dan menimbulkan tegangan susut lebih kecil daripada dinding cor di tempat yang sebanding.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**

Tabel 11.6.1 – Tulangan minimum untuk dinding dengan geser sebidang $V_u \leq 0{,}5\phi V_c$

Tipe dinding	Tipe dari tulangan nonprategang	Ukuran Tulangan	f_y, MPa	Longitudinal minimum[1], ρ_ℓ	Transversal minimum, ρ_t
Cor di tempat	Batang ulir	≤ D16	≥ 420	0,0012	0,0020
			< 420	0,0015	0,0025
		> D16	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	≤ ∅13 atau D13	Semua	0,0012	0,0020
Pracetak[2]	Batang ulir atau tulangan kawat las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

11.6.2 Bila gaya geser sebidang $V_u \geq 0{,}5\phi V_c$ maka a) dan b) harus dipenuhi:

a) ρ_l diambil yang terbesar dari nilai yang dihitung dengan menggunakan Pers. 11.6.2 dan 0,0025, tapi tidak perlu melebihi nilai ρ_t sesuai dengan Tabel 11.6.1.

$$\rho_\ell \geq 0{,}0025 + 0{,}5(2{,}5 - h_w/\ell_w)(\rho_t - 0{,}0025) \quad (11.6.2)$$

b) ρ_t sekurang-kurangnya 0,0025

R11.6.2 Untuk dinding yang dibebani secara monotonik dengan rasio tinggi dan panjang yang rendah, data tes (Barda et al. 1977) mengindikasikan bahwa tulangan geser horizontal menjadi kurang efektif untuk penahan geser dibandingkan dengan tulangan vertikal. Perubahan dalam efektivitas tulangan horizontal versus vertikal ini dikenali di Pers. (11.6.2); jika h_w/ℓ_w kurang dari 0,5, nilai tulangan vertikal sama dengan nilai tulangan horizontal. Jika h_w/ℓ_w lebih besar dari 2,5, hanya nilai minimum tulangan vertikal yang disyaratkan ($0{,}0025sh$).

11.7 - Pendetailan tulangan

11.7.1 *Umum*

11.7.1.1 Selimut beton untuk tulangan harus sesuai dengan 20.6.1.

11.7.1.2 Panjang penyaluran untuk tulangan ulir dan prategang harus sesuai dengan 25.4.

11.7.1.3 Panjang lewatan tulangan ulir harus sesuai dengan 25.5.

11.7.2 *Spasi tulangan longitudinal*

11.7.2.1 Spasi, s, tulangan longitudinal pada dinding cor di tempat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $3h$ atau 450 mm. Jika tulangan geser dibutuhkan untuk kekuatan sebidang, maka spasi dari tulangan longitudinal tidak boleh melebihi $\ell_w/3$.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

11.7.2.2 Spasi, s, tulangan longitudinal pada dinding pracetak tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b)

a) $5h$
b) 450 mm untuk dinding eksterior dan 750 mm untuk dinding interior

Jika tulangan geser dibutuhkan untuk kekuatan sebidang, maka **s** tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $3h$, 450 mm dan $\ell_w/3$.

11.7.2.3 untuk dinding dengan h lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding basemen dan dinding penahan kantilever, distribusi tulangan untuk tiap arah harus diletakkan dalam dua lapis parallel dengan muka dinding sesuai dengan a) dan b):

a) Satu lapis terdiri atas paling sedikit setengah dan tidak melebihi dua per tiga total kebutuhan tulangan untuk tiap arah dan harus diletakkan sejarak paling tidak 50 mm tapi tidak melebihi $h/3$ dari permukaan eksterior.
b) Lapisan lainnya terdiri atas sisa tulangan yang dibutuhkan pada arah tersebut, harus diletakkan sejarak paling tidak 20 mm, tapi tidak melebihi $h/3$ dari permukaan interior.

11.7.2.4 Tulangan lentur tarik harus terdistribusi dengan baik dan dipasang sedekat mungkin dengan permukaan tarik.

11.7.3 *Spasi tulangan melintang*

11.7.3.1 Spasi, s, tulangan melintang pada dinding yang dicor di tempat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $3h$ dan 450 mm. Jika tulangan geser dibutuhkan untuk kekuatan sebidang, s tidak boleh melebihi $\ell_w/5$.

11.7.3.2. Spasi, s ,dari batang melintang pada dinding pracetak tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b):

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) $5h$ b) 450 mm untuk dinding eksterior dan 750 mm untuk dinding interior Jika tulangan geser dibutuhkan untuk kekuatan sebidang, maka s tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $3h$, 450 mm dan $\ell_w/5$.	
11.7.4 *Tumpuan lateral tulangan longitudinal* **11.7.4.1** Bila tulangan longitudinal dibutuhkan untuk kekuatan aksial atau bila A_{st} melebihi $0{,}01A_g$, maka tulangan longitudinal harus ditumpu dengan sengkang ikat.	
11.7.5. *Tulangan disekitar bukaan* **11.7.5.1** Sebagai tambahan untuk tulangan minimum yang disyaratkan oleh 11.6 paling sedikit dua batang tulangan D16 pada dinding yang mempunyai dua lapis tulangan dan satu tulangan D16 untuk dinding dengan satu lapis tulangan dalam kedua arah harus disediakan sekitar jendela, pintu, dan bukaan sejenis. Tulangan tersebut harus diangkur untuk mengembangkan tarik f_y pada sudut-sudut bukaan.	
11.8 - Metode alternatif untuk analisis dinding langsing tidak sebidang **11.8.1** *Umum* **11.8.1.1** Efek kelangsingan tak sebidang diizinkan dianalisis sesuai dengan pasal ini untuk dinding yang memenuhi a) hingga e): a) Penampang konstan sepanjang ketinggian dinding b) Dinding terkontrol tarik untuk efek momen tak sebidang c) ϕM_n paling tidak sebesar M_{cr} dimana M_{cr} dihitung dengan menggunakan f_r seperti yang diatur dalam 19.2.3 d) P_u di penampang di tengah ketinggian tidak melebihi $0{,}06f_c'A_g$ e) Defleksi tak sebidang akibat beban layan Δ_s termasuk $P\Delta$ efek tidak melebihi $\ell_c/150$	**R11.8 - Metode alternatif untuk analisis dinding langsing tak sebidang** **R11.8.1** *Umum* **R11.8.1.1** Prosedur ini diajukan sebagai alternatif persyaratan 11.5.2.1 untuk desain tak sebidang panel dinding langsing yang mana panel dikekang terhadap rotasi di bagian atas. Panel yang memiliki jendela atau bukaan besar lainnya tidak dipertimbangkan memiliki penampang konstan pada ketinggian panel. Dinding tersebut harus didesain dengan mempertimbangkan dampak dari bukaan. Banyak aspek desain dinding dan bangunan miring yang dibahas dalam ACI 551.2R dan Carter et al. (1993).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

11.8.2 *Pemodelan*

11.8.2.1 Dinding harus dianalisis sebagai elemen dengan perletakan sederhana, terbebani aksial dengan beban lateral tak sebidang terbagi rata, dengan momen dan defleksi maksimum terjadi pada tengah ketinggian dinding.

11.8.2.2 Beban gravitasi terpusat yang bekerja pada dinding di atas sebarang penampang diasumsikan terbagi rata sepanjang lebar yang besarnya sama dengan lebar landasan, ditambah dengan lebar pada setiap sisi yang melebar dengan kemiringan 2 vertikal dengan 1 horizontal, tapi tidak lebih besar dari a) atau b):

a) Jarak antar beban terpusat
b) Tepi panel dinding

11.8.3 *Momen terfaktor*

11.8.3.1 M_u pada pertengahan tinggi dinding akibat kombinasi beban lentur dan aksial harus mengikut sertakan efek dari defleksi dinding sesuai dengan a) atau b):

a) Dengan perhitungan iterasi menggunakan:

$$M_u = M_{ua} + P_u \Delta_a \qquad (11.8.3.1a)$$

Dimana M_{ua} adalah momen terfaktor maksimum pada pertengahan tinggi dinding akibat beban lateral dan vertikal eksentris, tidak termasuk $P\Delta$ efek.
Δ_u harus dihitung dengan:

$$\Delta_u = \frac{5M_u \ell_c^{\,2}}{(0{,}75)48E_c I_{cr}} \qquad (11.8.3.1b)$$

R11.8.3 *Momen terfaktor*

R11.8.3.1 Jarak sumbu netral c pada Pers. (11.8.3.1c) sesuai dengan luas efektif tulangan longitudinal berikut.

$$A_{se,w} = A_s + \frac{P_u}{f_y}\left(\frac{h/2}{d}\right)$$

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Dimana I_{cr} harus dihitung dengan

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c}\left(A_s + \frac{P_u}{f_y}\frac{h}{2d}\right)(d-c)^2 + \frac{\ell_w c^3}{3} \quad (11.8.3.1c)$$

Dan nilai E_s/E_c paling kecil 6.

b) Dengan perhitungan langsung dengan menggunakan:

$$M_u = \frac{M_{ua}}{\left(1 - \frac{5P_u\ell_c^2}{(0{,}75)48E_cI_{cr}}\right)} \quad (11.8.3.1d)$$

11.8.4 *Defleksi tak sebidang – beban layan*

11.8.4.1 defleksi tidak sebidang akibat dari beban servis, Δ_s, harus dihitung sesuai dengan Tabel 11.8.1.4, dimana nilai M_a dihitung dengan Pers. 11.8.4.2.

Tabel 11.8.4.1- Perhitungan Δ_s

M_a	Δs	
$\leq(2/3)M_{cr}$	$\Delta_s = \left(\frac{M_a}{M_{cr}}\right)\Delta_{cr}$	(a)

PENJELASAN

R11.8.4 *Defleksi tak sebidang – beban layan*

R11.8.4.1 Data tes (Athey 1982) menunjukkan bahwa defleksi tak sebidang meningkat cepat ketika momen tingkat layan melebihi $(2/3)M_{cr}$. Interpolasi linear antara Δ_{cr} dengan Δ_n digunakan untuk mengukur Δ_s untuk menyederhanakan desain dinding langsing jika $M_a > (2/3)M_{cr}$.

Kombinasi beban pada kondisi layan tidak dijelaskan di Pasal 5 standar ini, tapi kombinasi ini didiskusikan di Lampiran C pada SNI 1727. Lampiran dari SNI 1727 tidak dipertimbangkan sebagai bagian wajib standar tersebut. Untuk penghitungan defleksi lateral kondisi layan pada struktur, Lampiran C pada SNI 1727 merekomendasikan penggunakan kombinasi beban berikut:

$$D + 0{,}5L + W_a$$

Dimana W_a adalah beban angin berdasarkan pada kecepatan angin pada kondisi layan seperti yang dijelaskan pada Lampiran C dari SNI 1727. Jika dinding langsing didesain untuk menahan efek gempa bumi *E*, dan *E* berdasar kepada efek kekuatan gempa bumi, kombinasi beban berikut dianggap sesuai untuk mengevaluasi defleksi lateral pada kondisi layan.

$$D + 0{,}5L + 0{,}7E$$

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

>(2/3)M_{cr}	$\Delta_s = (2/3)\Delta_{cr} + \frac{(M_a - (2/3)M_{cr})}{(M_n - (2/3)M_{cr})}(\Delta_n - (2/3)\Delta_{cr})$	(b)

11.8.4.2 Momen maksimum M_a pada pertengahan tinggi dinding karena beban servis lateral dan beban vertikal eksentris termasuk efek $P_s\Delta_s$, harus dihitung sesuai dengan Pers. 11.8.4.2 dengan iterasi defleksi.

$$M_a = M_{sa} + P_s\Delta_s \qquad (11.8.4.2)$$

11.8.4.3 Δ_{cr} dan Δ_n harus dihitung dengan pesamaan pada a) dan b):

a) $\Delta_{cr} = \frac{5M_{cr}\ell^2}{48E_cI_g}$ (11.8.4.3a)

b) $\Delta_{cr} = \frac{5M_n\ell^2}{48E_cI_{cr}}$ (11.8.4.3a)

11.8.4.4 I_{cr} harus dihitung dengan Pers. (11.8.3.1c)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 12 – DIAFRAGMA

12.1 - Ruang lingkup

12.1.1 Pasal ini digunakan dalam mendesain diafragma nonprategang dan prategang, termasuk a) hingga d):

a) Diafragma yang merupakan pelat cor di tempat.
b) Diafragma yang terdiri dari lapisan penutup (*topping*) pelat yang dicor di tempat di atas elemen pracetak
c) Diafragma yang terdiri dari elemen pracetak dengan tepian yang dibentuk dengan lapisan penutup pelat yang dicor di tempat atau balok tepi.
d) Diafragma elemen pracetak yang saling berhubungan tanpa lapisan penutup beton cor di tempat

R12.1 - Ruang lingkup

R12.1.1 Diafragma umumnya adalah elemen planar horizontal atau hampir horizontal yang berfungsi untuk mentransfer gaya-gaya lateral ke elemen-elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral (Gambar R12.1.1). Diafragma juga mengikat elemen-elemen-elemen bangunan gedung menjadi suatu sistem tiga dimensi yang utuh dan memberikan tahanan lateral pada elemen-elemen tersebut dengan menghubungkannya ke sistem pemikul gaya lateral. Tipikalnya, diafragma juga difungsikan sebagai pelat lantai dan atap, atau sebagai struktur rampa (*ramp*) gedung parkir yang dipakai juga untuk menahan beban gravitasi. Sebuah diafragma biasanya terdiri atas kord (*chord*) dan kolektor (*collector*).

Ketika terkena beban lateral, seperti beban inersia sebidang yang bekerja pada diafragma atap seperti ditunjukkan pada Gambar R12.1.1, diafragma pada dasarnya berperilaku sebagai balok horizontal yang membentang antara elemen-elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral. Diafragma menghasilkan momen lentur sebidang, gaya geser, dan juga gaya-gaya lainnya. Bila elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral tidak diteruskan setinggi diafragma, maka kolektor diperlukan untuk menahan gaya geser pada diafragma dan mentransfer gaya tersebut ke elemen vertikal. Istilah “distributor” biasanya dipakai untuk menjelaskan sebuah kolektor yang mentransfer gaya dari elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral ke diafragma. Pasal ini menjelaskan persyaratan minimum untuk diafragma dan desain kolektor serta pendetailannya, termasuk konfigurasi, model analisis, material, dan kekuatan.

Pasal ini hanya mencakup tipe-tipe diafragma yang disebutkan dalam peraturan ini. Tipe diafragma lainnya, seperti rangka batang *(truss)* horizontal yang berhasil digunakan pada bangunan, namun pasal ini tidak mencakup

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	ketentuan-ketentuan untuk tipe diafragma lainnya tersebut.
12.1.2 Diafragma pada struktur yang ditetapkan dalam kategori desain sesimik D, E atau F harus memenuhi persyaratan 18.12.	
12.2 - Umum **12.2.1** Desain harus memperhatikan a) hingga e): a) Gaya diafragma sebidang akibat beban lateral yang bekerja pada bangunan b) Gaya transfer diafragma c) Gaya sambungan antara diafragma dan rangka vertikal atau elemen nonstruktural d) Gaya yang dihasilkan dari pengaku (*bracing*) vertikal atau elemen miring gedung e) Gaya tak-sebidang diafragma akibat beban gravitasi dan beban lainnya yang bekerja pada permukaan diafragma	**R12.2 - Umum** **R12.2.1** Seperti sebagian ditunjukkan pada Gambar R12.1.1, diafragma berfungsi menahan gaya-gaya dari beberapa jenis aksi (Moehle et al. 2010): **a) Gaya diafragma sebidang** – Gaya lateral dari kombinasi pembebanan termasuk angin, gempa, dan tekanan horizontal fluida atau tanah yang menimbulkan aksi geser, aksial, dan lentur sebidang di sepanjang bentang diafragma dan mentransfer gaya-gaya tersebut ke elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral. Untuk beban angin, gaya lateral ditimbulkan oleh tekanan angin yang bekerja pada penutup bangunan (*cladding*) yang diteruskan oleh diafragma ke elemen vertikal. Untuk beban gempa, gaya inersia yang ditimbulkan dalam diafragma dan gaya-gaya tributari pada dinding, kolom, dan elemen lainnya yang selanjutnya diteruskan oleh diafragma ke elemen vertikal. Untuk bangunan di level bawah tanah, gaya lateral dihasilkan dari tekanan tanah terhadap dinding basemen (*basement);* dalam sistem tipikal, dinding basemen yang membentang secara vertikal antara lantai-lantai juga berfungsi sebagai diafragma yang mendistribusikan gaya lateral tanah ke elemen pemikul gaya lainnya. **b) Gaya transfer diafragma** – Elemen-elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral mungkin memiliki properti yang berbeda setinggi elemennya atau tahanan bidangnya dapat berubah dari satu tingkat ke tingkat lainnya, sehingga menimbulkan gaya transfer antara elemen-elemen vertikal. Lokasi yang umum terjadi perubahan tahanan bidang adalah pada level tanah gedung dengan perluasan denah bawah tanah (*basement)*. Pada daerah ini, gaya

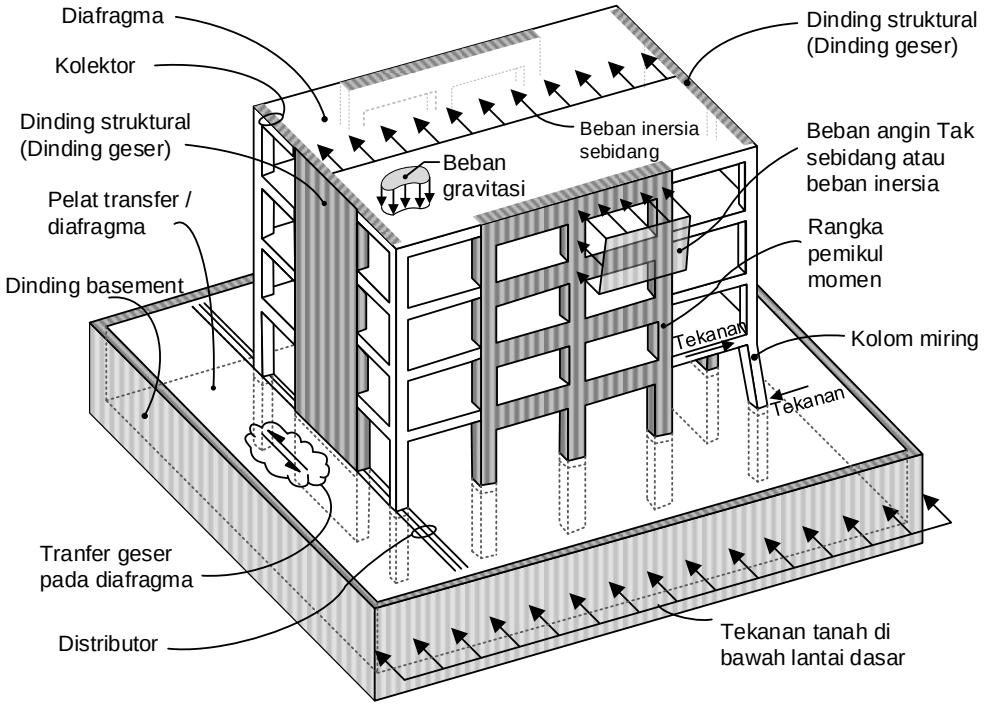
© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	ditransfer dari tower gedung yang lebih sempit menuju dinding basemen melalui sebuah diafragma podium (lihat Gambar R12.1.1). **c) Gaya sambungan** – Tekanan angin yang bekerja di permukaan dinding luar bangunan menghasilkan gaya tak-sebidang pada bagian permukaannya. Selain itu, goyangan akibat gempa dapat menghasilkan gaya inersia pada elemen-elemen rangka vertikal dan nonstruktural seperti *cladding*. Gaya-gaya ini ditransfer dari elemen tersebut yang kemudian diteruskan ke diafragma melalui sambungannya. **d) Gaya kolom bresing** – Konfigurasi arsitektural kadangkala memerlukan kolom miring, yang mana dapat menghasilkan gaya dorong horizontal yang besar dalam bidang diafragma akibat aksi gravitasi dan guling. Gaya dorong ini dapat bekerja pada arah berbeda yang bergantung pada orientasi kolom, baik dalam kondisi tekan maupun tarik. Bila gaya dorong ini tidak seimbang oleh elemen lokal lainnya, gaya tersebut harus ditransfer ke diafragma sehingga dapat disalurkan ke elemen yang sesuai pada sistem pemikul gaya lateral. Kondisi tersebut sudah umum dan dapat berpengaruh signifikan pada kolom pracetak terbebani eksentris yang tidak monolit dengan rangka yang bersebelahan. Diafragma juga memberikan tahanan lateral pada kolom yang tidak didesain sebagai bagian dari sistem pemikul gaya lateral dengan cara menghubungkannya ke elemen lain yang memiliki stabilitas lateral pada struktur tersebut. **e) Gaya diafragma tak-sebidang** – Diafragma umumnya adalah bagian dari lantai dan atap rangka yang berfungsi untuk menahan beban gravitasi. Peraturan umum bangunan mungkin juga memuat pertimbangan adanya gaya tak-sebidang akibat tekanan angin ke atas pada pelat atap dan percepatan vertikal akibat pengaruh gempa.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**



Gambar 12.1.1 – Aksi diafragma tipikal

12.2.2 *Material*

12.2.2.1 Properti desain untuk beton harus dipilih sesuai Pasal 19.

12.2.2.2 Properti desain untuk baja tulangan harus dipilih sesuai Pasal 20.

12.3 - Batasan desain

12.3.1 *Ketebalan minimum diafragma*

12.3.1.1 Diafragma harus memiliki ketebalan sesuai dengan persyaratan stabilitas, kekuatan dan kekakuan akibat kombinasi beban terfaktor.

12.3.1.2 Diafragma lantai dan atap harus memiliki ketebalan tidak kurang dari yang disyaratkan untuk lantai dan atap pada bagian lain di standar ini.

R12.3 - Batasan desain

R12.3.1 *Ketebalan minimum diafragma* – Diafragma mungkin diperlukan untuk menahan momen, gaya geser, dan gaya aksial sebidang. Untuk diafragma yang seluruhnya dicor di tempat atau terdiri dari lapisan penutup yang komposit dengan komponen pracetak, tebal seluruh diafragma harus cukup untuk menahan gaya-gaya tersebut. Untuk lapisan penutup nonkomposit, tebal lapisan penutup cor di tempat sendiri harus cukup untuk menahan gaya-gaya di atas. Pasal 18.12 memberikan persyaratan khusus untuk diafragma pada bangunan yang ditetapkan pada Kategori Desain Seismik D, E, dan F.

Selain persyaratan tahanan gaya sebidang, diafragma yang merupakan bagian dari konstruksi lantai atau atap

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	harus memenuhi persyaratan yang berlaku untuk ketebalan pelat atau sayap (*flange*).
12.4 – Kekuatan perlu **12.4.1** Umum	**R12.4 – Kekuatan perlu** Kombinasi beban terfaktor umumnya perlu mempertimbangan beban tak-sebidang yang berkerja secara bersamaan dengan gaya diafragma sebidang. Sebagai contoh, hal ini disyaratkan pada balok lantai yang juga berfungsi sebagai kolektor, dimana pada kasus ini balok tersebut harus didesain untuk menahan gaya aksial yang bekerja sebagai kolektor dan momen lentur yang bekerja sebagai balok lantai yang menahan beban gravitasi.
12.4.1.1 Kekuatan perlu untuk diafragma, kolektor, dan sambungannya harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban terfaktor pada Pasal 5.	
12.4.1.2 Kekuatan perlu untuk diafragma yang merupakan bagian dari lantai dan atap harus mengikutsertakan efek beban tidak sebidang yang bekerja secara simultan dengan beban lain.	
12.4.2 *Pemodelan dan analisis diafragma*	**R12.4.2** *Pemodelan dan analisis diafragma*
12.4.2.1 Persyaratan pemodelan dan analisis diafragma harus mengikuti peraturan umum bangunan yang berlaku, bila tidak disyaratkan secara khusus, pemodelan dan analisis diafragma harus sesuai 12.4.2.2 hingga 12.4.2.4.	**R12.4.2.1** SNI 1727 & SNI 1726 menetapkan persyaratan pemodelan diafragma untuk beberapa kondisi desain, seperti desain untuk menahan beban angin dan gempa. Bilamana SNI 1727 & SNI 1726 diadopsi sebagai bagian dari peraturan umum bangunan, persyaratan tersebut berlaku pada ketentuan-ketentuan dalam standar ini.
12.4.2.2 Prosedur pemodelan dan analisis harus memenuhi persyaratan pada Pasal 6.	**R12.4.2.2** Pasal 6 berisi tentang persyaratan umum analisis yang dapat diterapkan untuk diafragma. Diafragma umumnya didesain elastik atau hampir elastik untuk gaya-gaya sebidang pada kombinasi pembebanan terfaktor. Oleh karena itu, metode analisis menggunakan teori analisis elastik umumnya dapat digunakan. Ketentuan-ketentuan analisis elastik yang dibahas pada 6.6.1 hingga 6.6.3 dapat digunakan. Kekakuan diafragma sebidang tidak hanya mempengaruhi distribusi gaya di dalam diafragma, tetapi juga distribusi perpindahan dan gaya yang bekerja pada elemen vertikal. Oleh karena itu, model kekakuan diafragma sebaiknya selaras dengan sifat atau karakteristik suatu bangunan. Bila diafragma sangat kaku jika dibandingkan dengan elemen vertikal, seperti diafragma cor di tempat yang ditumpu oleh rangka momen dengan aspek rasio yang rendah, maka

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

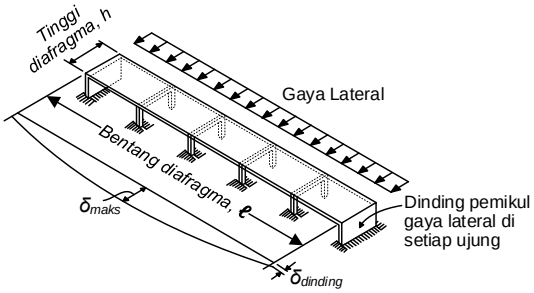
STANDAR	PENJELASAN
	model diafragma sebagai elemen kaku sempurna dapat digunakan. Bila diafragma lebih lentur jika dibandingkan dengan elemen vertikal, seperti pada beberapa sistem pracetak yang ditumpu ke dinding struktural, maka model diafragma sebagai balok fleksibel yang membentang di antara tumpuan kaku (*rigid*) dapat digunakan. Pada kasus lainnya, disarankan untuk mengadopsi model analisis yang lebih detail untuk menghitung pengaruh fleksibilitas diafragma pada distribusi perpindahan dan gaya. Contohnya adalah bangunan di mana kekakuan diafragma dan elemen vertikal kurang lebih mempunyai nilai yang sama, bangunan dengan gaya transfer besar, dan struktur parkir dengan terhubung oleh rampa (*ramp*) di antara lantai yang berfungsi sebagai elemen pengaku di dalam bangunan. Untuk diafragma yang dibangun dari pelat beton, ASCE/SEI 7 memperbolehkan asumsi sebagai diafragma kaku jika aspek rasio diafragma masih dalam batasan yang ditetapkan, yang batasannya berbeda untuk beban angin dan gempa, dan jika struktur tersebut tidak memiliki ketidakberaturan horizontal. Ketentuan ASCE/SEI 7 tidak melarang asumsi diafragma kaku untuk kondisi lainnya selama asumsi tersebut cukup konsisten dengan perilaku yang diantisipasi. Diafragma beton yang dicor di tempat yang didesain menggunakan asumsi diafragma kaku memiliki riwayat yang panjang dengan kinerja yang baik meskipun berada di luar nilai indeks ASCE/SEI 7.
12.4.2.3 Setiap asumsi yang masuk akal dan konsisten untuk menentukan kekakuan diafragma diizinkan.	**R12.4.2.3** Untuk diafragma dengan aspek rasio kecil yang sepenuhnya dicor di tempat atau terdiri atas lapisan penutup cor di tempat di atas elemen pracetak, diafragma biasanya dimodelkan sebagai elemen kaku yang ditumpu oleh elemen vertikal fleksibel. Akan tetapi, efek fleksibilitas diafragma sebaiknya dipertimbangkan di mana efek tersebut akan berpengaruh pada perhitungan gaya desain. Pengaruh tersebut harus dipertimbangkan untuk diafragma yang menggunakan elemen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

pracetak dengan atau tanpa lapisan penutup cor di tempat. Bila terjadi gaya transfer yang besar, seperti yang diuraikan pada R12.2.1b), gaya desain yang lebih realistis dapat diperoleh melalui pemodelan kekakuan diafragma sebidang. Diafragma dengan bentang panjang, area terpotong (*cutout*) yang besar, atau ketidakberaturan lainnya yang dapat menimbulkan deformasi sebidang yang harus dipertimbangkan dalam desain (lihat Gambar R12.4.2.3a).

Untuk diafragma yang dipertimbangkan kaku pada bidangnya dan untuk diafragma semi kaku, distribusi gaya internal diafragma dapat diperoleh melalui pemodelan diafragma sebagai balok horizontal kaku yang ditumpu oleh *spring* yang mewakili kekakuan lateral elemen vertikal (lihat Gambar R12.4.2.3b). Pengaruh eksentrisitas sebidang antara gaya yang bekerja dengan tahanan elemen vertikal yang menghasilkan torsi pada bangunan secara keseluruhan harus dimasukkan ke dalam analisis. Elemen-elemen sistem pemikul gaya lateral yang searah dalam arah ortogonal dapat berpartisiapasi untuk menahan rotasi bidang diafragma (Moehle et al. 2010).

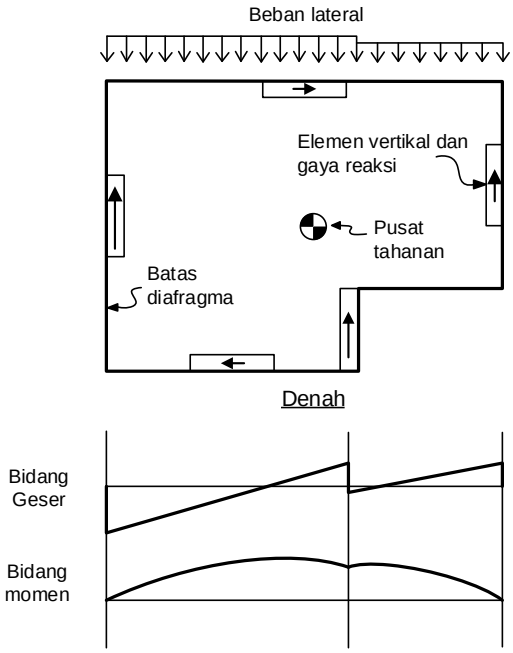


Gambar R12.4.2.3a – Contoh diafragma yang tidak bisa dianggap kaku pada bidangnya.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R12.4.2.3b – Aksi diafragma sebidang diperoleh dengan memodelkan diafragma sebagai balok horizontal kaku ditopang oleh tumpuan fleksibel.

12.4.2.4 Perhitungan momen, geser dan gaya aksial sebidang pada diafragma harus konsisten dengan persyaratan keseimbangan dan kondisi batas desain. Perhitungan momen, geser dan gaya aksial desain harus mengikuti salah satu dari a) hingga e):

a) Model diafragma kaku bila diafragma dapat diidealisasi sebagai struktur kaku
b) Model diafragma fleksibel bila difragma dapat diidealisasi sebagai struktur fleksibel
c) Analisis batas atas-batas bawah (*bounding analysis*) dimana nilai desain adalah *envelope* dari nilai yang diperoleh dengan mengasumsikan batas atas dan batas bawah kekakuan sebidang diafragma dalam dua atau lebih analisis terpisah.
d) Model elemen hingga dengan mempertimbangkan fleksibilitas diafragma
e) Model *strut*-and-*tie* sesuai dengan 23.2

R12.4.2.4 Model diafragma kaku sudah umum digunakan untuk diafragma yang sepenuhnya dicor di tempat dan diafragma yang terdiri atas lapisan penutup cor di tempat di atas elemen pracetak, yang memberikan kondisi fleksibel yang tidak dihasilkan oleh bentang panjang, aspek rasio yang tinggi, maupun ketidakberaturan diafragma. Untuk diafragma yang lebih fleksibel, analisis batas atas-batas bawah (*bounding analysis*) biasanya dilakukan bila diafragma dianalisis sebagai elemen kaku di atas tumpuan fleksibel dan sebagai diafragma fleksibel di atas tumpuan kaku dengan nilai desain diambil sebagai nilai *envelope* yang diambil dari dua analisis tersebut. Model elemen hingga dapat digunakan untuk berbagai jenis diafragma, namun khususnya berguna untuk diafragma dengan bentuk tak beraturan dan diafragma yang menahan gaya transfer yang besar. Kekakuan harus disesuaikan untuk mempertimbangkan retak beton akibat beban desain. Untuk diafragma beton pracetak yang mengandalkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	konektor mekanis, *joint* dan konektor perlu dimodelkan dalam model elemen hingga. Model *strut-and-tie* dapat digunakan untuk desain diafragma. Model *strut-and-tie* harus mempertimbangkan gaya bolak-balik yang mungkin terjadi pada desain kombinasi pembebanan.
12.5 - Kekuatan desain **12.5.1** *Umum*	**R12.5 - Kekuatan desain** **12.5.1** *Umum*
12.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang bekerja, kekuatan desain diafragma dan sambungannya harus memenuhi $\phi S_n \geq U$. Pengaruh interaksi antara beban harus diperhitungkan.	**R12.5.1.1** Gaya-gaya desain umumnya mencakup momen sebidang dengan atau tanpa gaya aksial, geser sebidang, dan gaya aksial tekan dan tarik pada kolektor dan elemen lainnya yang berperilaku sebagai batang tekan (*strut*) atau tarik (*ties*). Beberapa konfigurasi diafragma dapat menghasilkan tambahan jenis pada gaya desain. Sebagai contoh, diafragma vertikal berjenjang yang dimensinya berubah dapat menghasilkan lentur tak sebidang, torsi, atau keduanya. Diafragma perlu didesain untuk gaya-gaya tersebut, di mana gaya-gaya tersebut bilamana gaya-gaya tersebut terjadi pada elemen-elemn yang merupakan bagian dari lintasan beban. Kekuatan nominal yang dijelaskan pada Pasal 22 untuk diafragma yang diidealisasi sebagai balok atau elemen solid yang menahan momen sebidang, gaya aksial, dan geser, dan pada Pasal 23, untuk diafragma atau segmen diafragma yang diidealisasi sebagai sistem *strut-and-tie*. Kolektor dan *strut* di sekitar bukaan (*opening*) dapat didesain sebagai elemen tekan yang dibebani gaya aksial menggunakan ketentuan 10.5.2 dengan faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur terkontrol-tekan pada 21.2.2. Untuk tegangan aksial pada komponen struktur tersebut, kekuatan tarik nominal adalah $A_s f_y$, dengan faktor reduksi kekuatan sebesar 0,90 seperti disyaratkan untuk komponen struktur terkontrol-tarik pada 21.2.2. Diafragma didesain dengan kombinasi pembebanan pada 5.3. Bilamana diafragma atau bagian diafragma dikenai pengaruh beban majemuk, pengaruh interaksi beban juga perlu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dipertimbangkan. Contoh umum adalah bila kolektor merupakan balok atau pelat yang juga menahan beban gravitasi, dimana elemen tersebut didesain untuk kombinasi gaya aksial dan momen. Contoh lainnya adalah bila sambungan dikenai gaya tarik dan geser serentak.
12.5.1.2 Nilai ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	
12.5.1.3 Kekuatan desain harus sesuai dengan a), b), c), atau d): a) Untuk diafragma yang diidealisasi sebagai balok yang ketebalannya sama dengan ketebalan diafragma penuh, dengan momen ditahan oleh tulangan batas yang terkonsentrasi pada tepi diafragma, desain kekuatan harus sesuai dengan 12.5.2 hingga 12.5.4. b) Untuk diafragma atau segmen diafragma yang dimodelkan sebagai sistem *strut-and-tie*, kekuatan desain harus sesuai dengan 23.3 c) Untuk diafragma yang diidealisasi dengan model elemen hingga, kekuatan desain harus sesuai dengan Pasal 22. Distribusi geser yang tidak merata harus diperhitungkan dalam desain geser. Kolektor dalam desain tersebut harus disediakan untuk mentransfer geser diafragma ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral. d) Untuk diafragma yang didesain dengan metode alternatif, metode tersebut harus memenuhi semua persyaratan keseimbangan dan harus memiliki kekuatan desain paling sedikit sama dengan kekuatan perlu untuk semua elemen pada lintasan bebannya.	**R12.5.1.3** Perbedaan persyaratan kekuatan desain diterapkan tergantung pada bagaimana lintasan beban diafragma yang diidealisasi. Pasal 12.5.1.3a) menjelaskan persyaratan untuk kasus umum bila diafragma diidealisasi sebagai balok yang membentang di antara tumpuan dan menahan gaya pada bidangnya, dengan tulangan kord pada tepinya untuk menahan momen sebidang dan gaya aksial. Jika diafragma didesain menurut model ini, maka diasumsikan aliran gaya geser merata setinggi diafragma. Tinggi diafragma mengacu pada dimensi yang diukur pada arah gaya lateral dalam bidang diafragma (lihat Gambar R12.4.2.3a). Jika elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral tidak menerus setinggi diafragma, maka kolektor diperlukan untuk mentransfer aksi geser yang bekerja di sepanjang bagian sisa tinggi diafragma ke elemen vertikal. Pasal 12.5.2 hingga 12.5.4 adalah didasarkan pada model ini. Pendekatan desain ini dapat diterima bahkan jika beberapa momen ditahan oleh pratekanan seperti dibahas pada 12.5.1.4. 12.5.1.3b) hingga d) mengizinkan metode alternatif untuk desain diafragma. Jika diafragma didesain untuk menahan momen melalui kord yang terdistribusi, atau jika diafragma didesain sesuai medan tegangan yang ditentukan dari analisis elemen hingga, maka aliran gaya geser tak seragam harus diperhitungkan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

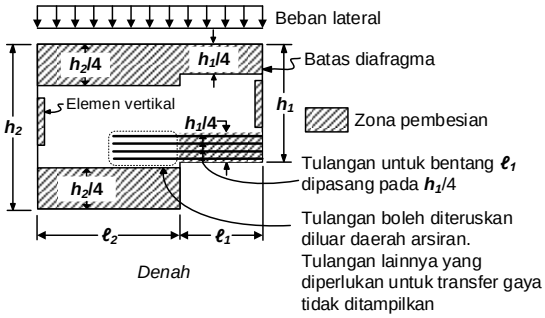
STANDAR	PENJELASAN
12.5.1.4 Penggunaan tegangan pratekanan dari tulangan prategang diizinkan untuk menahan gaya diafragma.	**R12.5.1.4** Dalam kasus tipikal pada pelat lantai prategang, gaya prategang minimum diperlukan untuk menahan kombinasi beban terfaktor $\mathbf{1,2}\boldsymbol{D} + \mathbf{1,6}\boldsymbol{L}$, di mana $\boldsymbol{L}$ boleh direduksi seperti yang diizinkan pada peraturan umum bangunan. Untuk desain beban angin dan gempa, beban gravitasi yang dipikul oleh prategang direduksi karena pengaruh kombinasi pembenanan $\mathbf{1,2}\boldsymbol{D} + \boldsymbol{f_1 L} + (\boldsymbol{W}$ **atau** $\boldsymbol{E})$, di mana $\boldsymbol{f_1}$ adalah 1,0 atau 0,5 tergantung pada sifat $\boldsymbol{L}$. Oleh karena itu, hanya sebagian dari gaya prategang efektif yang diperlukan untuk menahan beban gravitasi tereduksi tersebut. Sisa gaya prategang efektif dapat digunakan untuk menahan momen diafragma sebidang. Jika ada momen tambahan maka akan ditahan oleh tulangan tambahan.
12.5.1.5 Bila tidak diberi gaya prategang, tulangan prategang terlekat didesain untuk menahan gaya kolektor, geser diafragma atau gaya tarik akibat momen sebidang, nilai tegangan baja yang digunakan untuk menghitung tahanan tidak boleh melebihi yang terkecil dari kekuatan leleh yang disyaratkan dan 420 MPa.	**R12.5.1.5** Tulangan prategang terlekat yang tidak ditegangkan, baik kawat *strand* atau batang baja, terkadang digunakan untuk menahan gaya diafragma desain. Batasan yang diberikan dengan asumsi kekuatan leleh adalah untuk mengontrol lebar retak dan bukaan *joint*. Standar ini tidak mencakup ketentuan untuk penyaluran tulangan prategang terlekat yang tidak ditegangkan. Batasan tegangan untuk ketentuan tulangan lainnya dijelaskan pada Pasal 20.
12.5.2 *Momen dan gaya aksial*	**R12.5.2** *Momen dan gaya aksial*
12.5.2.1 Desain diafragma diperkenankan untuk menahan momen sebidang dan gaya aksial sesuai 22.3 dan 22.4.	**R12.5.2.1** Bagian ini mengizinkan desain momen dan gaya aksial sesuai dengan asumsi umum pada 22.3 dan 22.4, termasuk asumsi bahwa regangan bervariasi secara linear sepanjang tinggi diafragma. Pada umumnya, desain momen dan gaya aksial dapat diperoleh dengan menggunakan perkiraan kopel tarik-tekan dengan faktor reduksi kekuatan sama dengan 0,90.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
12.5.2.2 Diizinkan untuk menahan tarik akibat momen yang disebabkan oleh a), b), c) atau d), atau kombinasinya. a) Tulangan ulir sesuai dengan 20.2.1 b) *Strand* atau batang sesuai dengan 20.3.1 baik prategang maupun nonprategang. c) Sambungan mekanis yang melintasi *joint* antar elemen pracetak d) Pratekanan dari tulangan prategang	**R12.5.2.2** Tulangan prategang terlekat yang digunakan untuk menahan momen sebidang dan gaya aksial dapat berupa tulangan prategang atau nonprategang. Konektor mekanis yang melintasi *joint* di antara elemen beton pracetak diberikan untuk mencapai sebuah lintasan beban yang menerus pada tulangan yang tertanam pada elemen tersebut. Fungsi pratekanan pada tulangan prategang dijelaskan pada R12.5.1.4.
12.5.2.3 Tulangan nonprategang dan sambungan mekanis yang menahan tarik akibat momen harus diletakkan sejauh $\boldsymbol{h/4}$ dari tepi diafragma yang mengalami tarik, dimana $\boldsymbol{h}$ adalah tinggi diafragma yang diukur pada bidang diafragma di lokasi tersebut. Ketika tinggi diafragma berubah sepanjang bentang, maka diijinkan untuk meneruskan tulangan ke segmen diafragma yang berdekatan yang tidak berada dalam batasan $\boldsymbol{h/4}$.	**R12.5.2.3** Gambar R12.5.2.3 menunjukkan lokasi yang diizinkan untuk pemasangan tulangan nonprategang yang menahan tarik akibat momen dan gaya aksial. Bilamana tinggi diafragma berubah di sepanjang bentang, tulangan tarik dipasang pada bagian yang berdekatan meskipun tulangan berada diluar batas $\boldsymbol{h/4}$. Pada kasus tersebut, model *strut-and-tie* atau analisis elastik tegangan bidang (*plane stress*) dapat digunakan untuk menentukan perpanjangan batang tulangan dan persyaratan tulangan lainnya untuk memberikan kontinuitas di bagian tinggi diafragma yang berubah. Pembatasan pada lokasi tulangan nonprategang dan sambungan mekanis dimaksudkan untuk mengontrol retak dan bukaan *joint* berlebih yang dapat terjadi didekat tepi jika tulangan atau sambungan mekanis didistribusikan di seluruh tinggi diafragma. Konsentrasi tulangan lentur tarik didekat tepi diafragma juga menghasilkan aliran gaya geser yang seragam di seluruh tinggi diafragma. Tidak ada batasan untuk penempatan tulangan prategang yang dipasang untuk menahan momen melalui pratekanan. Pratekanan mempengaruhi penentuan momen yang mampu ditahan oleh tulangan prategang, di mana sisa momen yang ditahan oleh tulangan atau konektor mekanis yang ditempatkan sesuai 12.5.2.3. Standar ini tidak mensyaratkan elemen batas diafragma yang menahan gaya lentur tekan desain didetailkan seperti kolom. Akan tetapi, bila elemen batas yang menahan gaya tekan yang besar dibandingkan dengan kekuatan aksialnya, atau didesain sebagai *strut*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	yang berdekatan dengan tepi atau bukaan, pendetailan tulangan dengan tulangan transversal yang sama dengan sengkang pengekang (*hoops*) pada kolom harus dipertimbangkan.



Gambar R12.5.2.3 – Lokasi tulangan nonprategang yang menahan tarik akibat momen dan gaya aksial menurut 12.5.2.3.

12.5.2.4 Sambungan mekanis penghubung *joint* antara elemen pracetak harus didesain untuk menahan gaya tarik perlu akibat bukaan *joint* yang diantisipasi.

R12.5.2.4 Pada diafragma pracetak tanpa lapisan penutup yang menahan gaya sebidang dengan respons linear, besar bukaan *joint* (kira-kira 2,5 mm atau kurang) harus diantisipasi. Bukaan *joint* yang besar dapat terjadi akibat gerakan gempa yang melebihi level desain. Sambungan mekanis harus mampu mempertahankan kekuatan desain terhadap bukaan *joint* yang diantisipasi.

12.5.3 *Geser*

R12.5.3 *Geser*

12.5.3.1 Bagian ini harus digunakan sebagai persyaratan kekuatan geser sebidang.

R12.5.3.1 Ketentuan ini mengasumsikan bahwa aliran gaya geser diafragma diperkirakan seragam diseluruh tinggi diafragma, seperti pada kasus desain sesuai 12.5.1.3a). Bila digunakan pendekatan alternatif, variasi lokal pada geser sebidang diseluruh tinggi diafragma harus dipertimbangkan.

12.5.3.2 Nilai ϕ harus diambil sebesar 0,75, kecuali nilai yang lebih kecil disyaratkan pada 21.2.4.

R12.5.3.2 Faktor reduksi kekuatan yang lebih rendah mungkin diperlukan untuk Kategori Desain Seismik D, E, atau F, atau bilamana digunakan sistem khusus untuk pemikul gaya gempa.

12.5.3.3 Untuk diafragma yang secara keseluruhan dicor di tempat, maka nilai V_n harus diitung sesuai dengan Pers. 12.5.3.3.

R12.5.3.3 Ketentuan ini diadaptasi dari ketentuan desain pemikul gaya gempa pada 18.12.9. Istilah A_{cv} mengacu pada luasan penampang balok tinggi effektif yang membentuk diafragma.

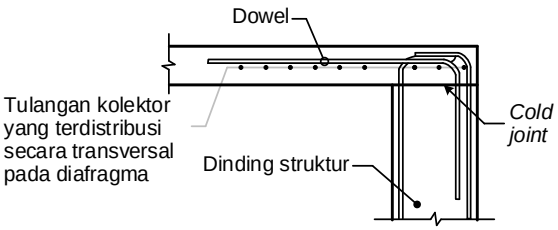
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
$V_n = A_{cv}\left(0{,}17\lambda\sqrt{f_c' + \rho_t f_y}\right)$ (12.5.3.3) Dimana A_{cv} adalah luasan bruto beton yang dibatasi oleh ketebalan badan dan tinggi diafragma dikurangi dengan luasan bukaan bila ada; nilai $\sqrt{f_c'}$ untuk menghitung V_n tidak boleh melebihi 8,3 MPa; dan ρ_t merupakan rasio tulangan yang terdistribusi dengan arah sejajar dengan geser sebidang. **12.5.3.4** Untuk diafragma yang seluruhnya dicor di tempat, dimensi penampang harus ditpilih memenuhi Pers. (12.5.3.4). $V_u \le \phi 0{,}66 A_{cv}\sqrt{f_c'}$ (12.5.3.4) Dimana nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan untuk menghitung V_n tidak boleh melebihi 8,3 MPa. **12.5.3.5** Untuk diafragma yang merupakan lapisan penutup beton dicor di tempat di atas elemen pracetak harus memenuhi persyaratan a) dan b): a) V_n harus dihitung sesuai dengan Pers. (12.5.3.3) dan dimensi penampang harus dipilih untuk memenuhi Pers. (12.5.3.4). A_{cv} harus dihitung dengan menggunakan ketebalan lapisan penutup untuk lapisan penutup pada pelat diafragma nonkomposit dan gabungan antara tebal lapisan penutup cor di tempat dan tebal elemen pracetak untuk pelat diafragma komposit. Untuk penutup pelat diafragma komposit, nilai dari f_c' pada Pers. (12.5.3.3) dan (12.5.3.4) harus diambil tidak boleh melebihi yang terkecil antara f_c' elemen pracetak dan f_c' lapisan penutup pelat. b) V_n tidak boleh melebihi nilai geser friksi yang dihitung dengan ketentuan dalam 22.9 yang menyertakan ketebalan lapisan penutup pelat di	**R12.5.3.5** Untuk diafragma dengan lapisan penutup pelat cor di tempat di atas elemen pracetak, tebal efektif dalam 12.5.3.5a) direduksi menjadi tebal lapisan penutup jika lapisan penutup tersebut adalah tidak komposit dengan elemen pracetak. Lapisan penutup cenderung mengalami retak di atas dan sepanjang *joint* di antara elemen pracetak. Oleh karena itu, 12.5.3.5b) membatasi kekuatan geser untuk kekuatan geser friksi pada lapisan penutup di atas sambungan antar elemen pracetak.

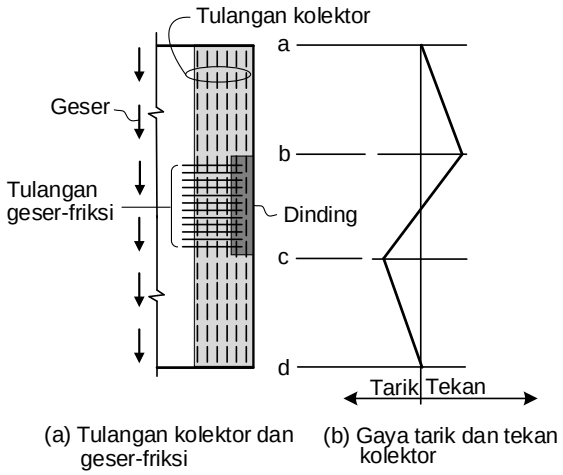
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
atas *joint* antara elemen pracetak nonkomposit dan lapisan penutup pelat diafragma komposit serta tulangan yang melalui sambungan antar elemen pracetak.	
12.5.3.6 Untuk diafragma yang dihubungkan dengan elemen pracetak tanpa adanya lapisan penutup beton, dan untuk diafragma yang merupakan elemen pracetak dengan tepian yang dibentuk dengan lapisan penutup pelat bton cor di tempat atau balok tepi, maka desain geser harus memenuhi persyaratan a), b) atau keduanya. a) Kekuatan nominal dari *joint* yang digrout tidak boleh melebihi 0,55 MPa. Tulangan harus didesain untuk menahan gaya geser melalui geser friksi sesuai dengan 22.9. Tulangan geser friksi harus ditambahkan ke tulangan yang didesain menahan tarik akibat momen dan gaya aksial. b) Sambungan mekanis menyilang *joint* antar elemen pracetak harus didesain untuk menahan geser yang diperlukan untuk mengantisipasi bukaan *joint*.	**R12.5.3.6** Standar ini tidak membahas ketentuan diafragma tanpa lapisan penutup untuk bangunan yang termasuk dalam Kategori Desain Seismik D, E, dan F. Geser pada diafragma penutup dapat ditahan melalui penggunaan tulangan geser friksi pada *joint* ter*grouting* (FEMA P751). Tulangan geser friksi disyaratkan sebagai tambahan pada tulangan yang diperlukan dalam desain untuk menahan gaya tarik lainnya pada diafragma, seperti akibat momen dan gaya aksial, atau akibat tarik pada kolektor. Hal ini bertujuan untuk mengurangi bukaan pada *joint* ketika menahan gaya geser secara serempak melalui geser friksi. Selain itu, konektor mekanis dapat digunakan sebagai alternatif untuk mentransfer geser pada *joint* elemen pracetak. Pada kasus ini, besarnya bukaan *joint* harus diantisipasi. Konektor mekanis harus mampu mempertahankan kekuatan desain akibat bukaan *joint*.
12.5.3.7 Untuk sebarang diafragma, dimana geser disalurkan dari diafragma ke kolektor, atau dari diafragma atau kolektor ke elemen vertikal dari sistem penahan gaya lateral, maka a) atau b) harus dipenuhi: a) Bila gaya geser disalurkan melalui beton, persyaratan geser friksi 22.9 harus dipenuhi. b) Bila gaya geser disalurkan melalui sambungan mekanis atau dowel, efek gaya angkat dan rotasi dari elemen vertikal pada sistem penahan gaya lateral harus dipertimbangkan.	**R12.5.3.7** Selain mempunyai kekuatan geser yang cukup pada bidangnya, diafragma harus diperkuat untuk mentransfer geser melalui geser friksi atau konektor mekanis ke kolektor dan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral. Untuk diafragma yang sepenuhnya cor di tempat, tulangan yang dipasang untuk tujuan lainnya biasanya cukup memadai untuk mentransfer gaya dari diafragma ke kolektor melalui geser friksi. Akan tetapi, tulangan tambahan diperlukan untuk mentransfer geser diafragma atau kolektor ke elemen vertikal sistem pemikul gaya lateral melalui geser friksi. Gambar 12.5.3.7 menunjukkan detail dowel yang pasang untuk tujuan ini.

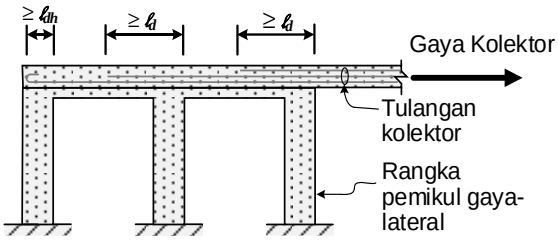
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R12.5.3.7 – Detail tipikal yang memperlihatkan dowel yang digunakan untuk transfer geser ke dinding struktural melalui geser-friksi.**
12.5.4 *Kolektor*	**R12.5.4** *Kolektor* – Kolektor adalah bagian dari diafragma yang mentransfer gaya di antara diafragma dan elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral. Kolektor dapat diteruskan pada arah transversal ke diafragma untuk mengurangi tegangan nominal dan kerapatan tulangan, seperti ditunjukkan pada Gambar R12.5.3.7. Bila lebar kolektor diteruskan ke pelat, lebar kolektor pada tiap sisi elemen vertikal tidak boleh melebihi setengah dari panjang kontak antara kolektor dan elemen vertikal.
12.5.4.1 Kolektor harus diteruskan dari elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral ke seluruh atau sebagian tinggi diafragma yang diperlukan untuk mentransfer geser dari diafragma ke elemen vertikal. Kolektor boleh tidak diteruskan sepanjang elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral bilamana penyaluran gaya kolektor desain tidak diperlukan.	**R12.5.4.1** Prosedur desain pada 12.5.1.3a) menunjukkan pemodelan diafragma sebagai balok tinggi penuh dengan aliran gaya geser seragam. Jika elemen vertikal dari sistem pemikul beban lateral tidak diteruskan sepanjang tinggi diafragma, maka kolektor diperlukan untuk mentransfer gaya geser di sepanjang sisa tinggi diafragma ke elemen vertikal, seperti ditunjukkan pada Gambar R12.5.4.1. Kolektor dengan tinggi parsial dapat juga dipertimbangkan, namun sebuah lintasan gaya yang lengkap harus didesain sehingga mampu mentransmisikan semua gaya dari diafragma ke kolektor dan ke elemen vertikal (Moehle et al. 2010).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R12.5.4.1 – Penulangan kolektor penuh dan geser-friksi yang diperlukan untuk tranfer gaya kolektor ke dinding**
12.5.4.2 Kolektor harus didesain sebagai komponen tarik, komponen tekan atau keduanya sesuai 22.4.	**R12.5.4.2** Gaya tarik dan tekan pada kolektor ditentukan oleh gaya geser pada diafragma yang diteruskan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral (lihat Gambar R12.5.4.1). Terkecuali seperi yang ditentukan pada 18.12.7.5, standar ini tidak mensyaratkan bahwa kolektor yang menahan gaya tekan desain didetailkan sebagai kolom. Akan tetapi, pada struktur tertentu dimana kolektor menahan gaya tekan yang sangat besar dibandingkan dengan kekuatan aksial, atau didesain sebagai *strut* yang melewati tepi atau bukaan yang berdekatan, pendetailan tulangan transversal yang sama seperti tulangan sengkang pengekang pada kolom harus dipertimbangkan. Pendetailan tersebut disyaratkan dalam 18.12.7.5 untuk beberapa diafragma pada bangunan yang termasuk dalam Kategori Desain Seismuk D, E, dan F.
12.5.4.3 Bila kolektor didesain untuk menyalurkan gaya ke elemen vertikal, tulangan kolektor harus diteruskan sepanjang elemen vertikal dengan nilai tidak kurang yang terbesar dari a) dan b): a) Panjang yang diperlukan untuk penyaluran tulangan dalam tarik b) Panjang yang diperlukan untuk menyalurkan gaya desain ke elemen vertikal melalui geser friksi sesuai	**R12.5.4.3** Di samping memiliki panjang penyaluran yang cukup, tulangan kolektor harus diteruskan sebagaimana diperlukan untuk sepenuhnya mentransfer gaya ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral. Praktek yang umum adalah meneruskan beberapa tulangan kolektor sepanjang elemen vertikal, sehingga gaya kolektor dapat ditransmisikan secara seragam melalui geser friksi (lihat Gambar R12.5.4.1).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dengan 22.9, melalui sambungan mekanis, atau melalui mekanisme penyaluran gaya lainnya.	Gambar R12.5.4.3 menunjukkan contoh tulangan kolektor yang diteruskan sebagaimana diperlukan untuk mentransfer gaya ke tiga kolom rangka. Catatan: tulangan kolektor harus diteruskan sebagaimana diperlukan untuk menyalurkan gaya ke elemen vertikal dan harus disalurkan pada penampang kritis.  **Gambar R12.5.4.3 – Skematik transfer gaya dari kolektor ke elemen vertikal dari sistem pemikul beban lateral**
12.6 - Batasan tulangan **12.6.1** Tulangan yang menahan tegangan susut dan suhu harus sesuai 24.4. **12.6.2** Kecuali untuk pelat di atas tanah, diafragma yang merupakan bagian dari konstruksi lantai atau atap harus sesuai dengan batasan tulangan pelat satu arah sesuai 7.6 atau pelat dua arah sesuai 8.6. **12.6.3** Tulangan yang didesain untuk menahan gaya diafragma sebidang harus ditambahkan ke tulangan yang didesain menahan pengaruh beban lainnya, kecuali tulangan yang desain untuk menahan susut dan suhu juga diizinkan untuk menahan gaya diafragma sebidang.	
12.7 - Pendetailan tulangan **12.7.1** *Umum* **12.7.1.1** Selimut beton untuk tulangan harus sesuai dengan 20.6.1 **12.7.1.2** Panjang penyaluran tulangan ulir dan prategang harus sesuai 25.4, kecuali panjang penyaluran yang lebih panjang disyaratkan oleh Pasal 18.	**R12.7 - Pendetailan tulangan** **R12.7.1** *Umum* **R12.7.1.1** Untuk struktur yang termasuk dalam Kategori Desain Seismik D, E, dan F, selimut beton mungkin diatur sesuai dengan persyaratan desain seismik pada 18.12.7.6.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
12.7.1.3 Sambungan (*splice*) dari tulangan ulir harus sesuai dengan 25.5.	
12.7.1.4 Tulangan bundel harus sesuai 25.6.	
12.7.2 *Spasi tulangan*	**R12.7.2** *Spasi tulangan*
12.7.2.1 Spasi minumum tulangan, s, harus sesuai 25.2	**R12.7.2.1** Untuk struktur yang termasuk Kategori Desain Seismik D, E, dan F, spasi tulangan pengekang pada kolektor dapat ditentukan sesuai dengan persyaratan desain seismik pada 18.12.7.5.
12.7.2.2 Spasi maksimum s tulangan ulir harus diambil nilai terkecil dari lima kali ketebalan diafragma dan 450 mm.	
12.7.3 *Tulangan diafragma dan kolektor*	**R12.7.3** *Tulangan diafragma dan kolektor*
12.7.3.1 Kecuali untuk pelat di atas tanah, diafragma yang merupakan bagian dari lantai atau atap harus sesuai dengan batasan pendetailan tulangan pelat satu arah pada 7.7, atau pelat dua arah sesuai 8.7.	
12.7.3.2 Gaya tarik atau tekan yang dihitung pada tulangan di setiap penampang diafragma atau kolektor harus disediakan pada setiap sisi dari penampang tersebut.	**R12.7.3.2** Penampang kritis untuk panjang penyaluran tulangan umumnya berada pada titik tegangan maksimum, titik dimana tulangan terputus yang tidak diperlukan untuk menahan gaya desain, dan titik diskontinuitas pada diafragma.
12.7.3.3 Tulangan yang diperuntukkan untuk menahan tarik harus diteruskan melebihi titik dimana tidak diperlukan lagi untuk menahan tarik paling tidak sebesar ℓ_d, kecuali pada tepi diafragma dan *expansion joint.*	**R12.7.3.3** Untuk balok, standar ini mensyaratkan tulangan lentur untuk diperpanjang sebesar d dan $12d_b$ melewati titik dimana tidak diperlukan untuk menahan lentur. Perpanjangan ini penting untuk balok untuk menahan penyaluran atau mencegah kegagalan geser yang dihasilkan karena ketidaktepatan dalam penentuan lokasi tegangan tarik. Kegagalan yang sama pada diafragma belum pernah ditemukan. Untuk menyederhanakan desain dan menghindari perpanjangan batang tulangan yang berlebihan yang dapat terjadi jika ketentuan balok digunakan pada diafragma, ketentuan ini hanya mensyaratkan bahwa tulangan tarik diperpanjang sebesar ℓ_d melewati

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	titik dimana tidak diperlukan untuk menahan tarik.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 13 – FONDASI

13.1 - Ruang lingkup

R13.1 - Ruang lingkup

Ketika persyaratan yang berlaku untuk fondasi sudah tersedia pada pasal ini, sebagian dari persyaratan yang digunakan untuk desain fondasi dapat ditemukan di pasal lain pada standar ini. Pasal lain tersebut dirujuk dalam Pasal 13. Namun, penerapan untuk ketentuan-ketentuan tertentu dalam pasal tersebut mungkin tidak dijelaskan secara eksplisit untuk fondasi.

13.1.1 Pasal ini ditujukan untuk desain fondasi nonprategang dan fondasi prategang, termasuk fondasi dangkal a) hingga e) dan, jika ada, fondasi dalam f) hingga i):

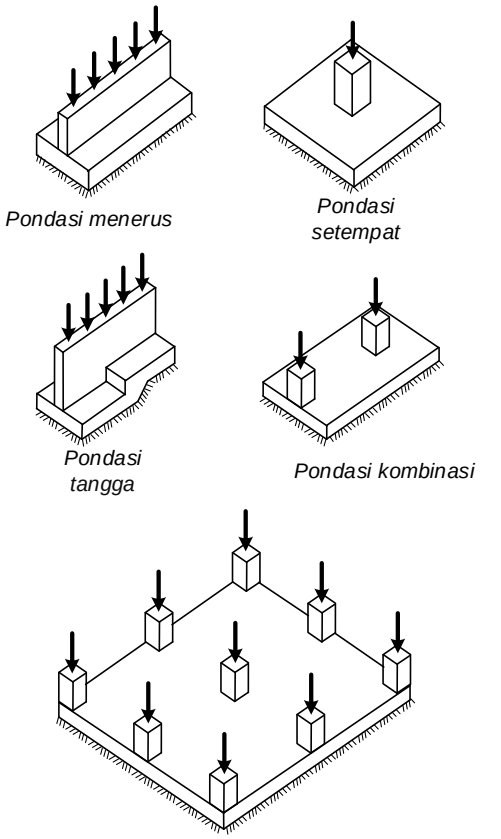
a) Fondasi lajur
b) Fondasi setempat
c) Fondasi gabungan
d) Fondasi rakit
e) Balok sloof
f) *Pile cap*
g) Fondasi tiang
h) Fondasi tiang bor
i) *Caissons*

R13.1.1 Contoh-contoh dari tipe fondasi yang termasuk pada pasal ini diilustrasikan dalam Gambar R13.1.1. Fondasi tangga dan miring dianggap sebagai bagian dari tipe fondasi lainnya.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R13.1.1 Tipe – tipe fondasi

13.1.2 Fondasi di luar yang ditentukan oleh 1.4.6 tidak tidak dibahas pada pasal ini.

13.2 - Umum

R13.2 - Umum

13.2.1 *Material*

13.2.1.1 Properti desain untuk beton harus dipilih sesuai dengan Pasal 19.

13.2.1.2 Properti desain untuk tulangan baja harus dipilih sesuai dengan Pasal 20.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
13.2.1.3 Material, desain, dan persyaratan pendetailan penanaman dalam beton harus sesuai dengan 20.7.	
13.2.2 *Sambungan ke komponen lain*	
13.2.2.1 Desain dan pendetailan kolom cor di tempat dan kolom pracetak, pedestal, dan sambungan dinding ke fondasi harus sesuai dengan 16.3.	
13.2.3 *Efek gempa*	**13.2.3** *Efek gempa*
13.2.3.1 Komponen struktur yang diteruskan ke bawah dasar struktur yang diperlukan untuk mentransmisikan gaya akibat efek gempa ke fondasi harus didesain sesuai 18.2.2.3.	**R13.2.3.1** Struktur dasar, seperti yang dijelaskan di dalam analisis, tidak perlu selalu terkait dengan fondasi atau lantai dasar, atau untuk bangunan dasar seperti yang dijelaskan pada peraturan umum gedung untuk perencanaan (sebagai contoh, batas ketinggian atau persyaratan untuk perlindungan terhadap api). Detail kolom dan dinding yang menerus di bawah dasar struktur ke fondasi diharuskan untuk tetap konsisten dengan struktur atasnya.
13.2.3.2 Untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D, E, atau F, fondasi dangkal dan dalam yang menahan gaya akibat gempa atau yang mentransmisikan gaya akibat gempa antara struktur dan tanah harus didesain sesuai 18.13.	**R.13.2.3.2** Respons inelastik pada elemen struktur di atas fondasi diharapkan terjadi ketika goncangan kuat tanah yang mana elemen fondasi harus tetap elastis. Karena perbaikan fondasi bisa menjadi sangat sulit dan mahal. Persyaratan fondasi sebagai penopang bangunan yang masuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, E, atau F menunjukan kesepakatan tingkat minimum dari pelaksanaan yang baik dalam desain dan pendetailan fondasi beton dalam rangka mencapai tujuan tersebut.
13.2.4 *Pelat di atas tanah*	**R13.2.4** *Pelat di atas tanah* - Pelat di atas tanah sering berperilaku sebagai diagfragma untuk menahan kesatuan gedung di lantai dasar dan meminimalisasi efek pergerakan tanah yang tidak sefase (*out of phase*) yang terjadi di dasar bangunan. Pada kasus ini, pendetailan dan penulangan pelat lantai harus cukup. Seperti yang disyaratkan pada Pasal 26, dokumen konstruksi harus menyatakan dengan jelas bahwa pelat-pelat di atas tanah tersebut adalah komponen struktur, sehingga pemotongan (*sawcutting*) pada komponen pelat yang dimaksud di atas tidak diperbolehkan.
13.2.4.1 Pelat di atas tanah yang menyalurkan beban vertikal atau gaya lateral dari bagian struktur lainnya ke tanah harus didesain dan didetailkan berdasarkan ketentuan yang sesuai standar ini.	
13.2.4.2 Pelat di atas tanah yang mentransmisikan gaya lateral sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik harus didesain sesuai dengan 18.13.	
13.2.5 *Beton polos*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
13.2.5.1 Fondasi beton polos harus didesain sesuai Pasal 14.	
13.2.6 *Kriteria desain*	**R13.2.6** *Kriteria desain*
13.2.6.1 Fondasi harus proporsional dalam menahan beban terfaktor dan reaksi terinduksi.	**R13.2.6.1** Tegangan tanah izin dan kapasitas tiang izin ditentukan oleh prinsip-prinsip mekanika tanah dan disesuaikan dengan peraturan umum bangunan. Ukuran dari dasar fondasi pada tanah atau jumlah dan susunan tiang biasanya di tentukan berdasarkan nilai-nilai izin dan beban tak terfaktor (beban layan), seperti $\boldsymbol{D}$, $\boldsymbol{L}$, $\boldsymbol{W}$, dan $\boldsymbol{E}$, dengan berbagai kombinasi yang telah diatur dalam desain. Pada beberapa kasus dimana beban eksentris atau momen dipertimbangkan, tekanan tanah ekstrim atau reaksi tiang yang didapat dari pembebanan ini harus masuk dalam nilai izin. Reaksi resultan akibat kombinasi beban layan seperti momen, geser atau keduanya yang disebabkan oleh gaya angin atau gempa tidak boleh melebihi nilai izin yang telah dinaikkan yang diizinkan oleh peraturan umum gedung. Untuk menentukan porsi kekuatan dari *pile cap* atau fondasi telapak, perhitungan tekanan tanah di bawah telapak atau reaksi tiang diperlukan untuk menghitung beban terfaktor yang terjadi. Perhitungan tekanan tanah atau reaksi tiang tersebut digunakan untuk menentukan keperluan kekuatan fondasi untuk lentur, geser dan penyaluran tulangan pada fondasi, seperti pada komponen struktur lainnya. Dalam kasus beban eksentris, beban terfaktor dapat menyebabkan pola tekanan tanah dan reaksi tiang yang berbeda jika dibandingkan dengan yang didapat dari beban tak terfaktor. Gaya yang perlu ditransfer ke fondasi hanya momen-momen ujung terhitung pada dasar kolom atau pedestal. Persyaratan momen minimum untuk pertimbangan kelangsingan seperti yang diberikan 6.6.4.5 tidak perlu dipertimbangkan untuk transfer gaya dan momen pada fondasi.
13.2.6.2 Sistem fondasi diizinkan untuk didesain dengan berbagai prosedur yang	**R13.3.6.2** Desain fondasi diizinkan menggunakan acuan dari prinsip-prinsip dasar mekanika struktur selama hasil

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

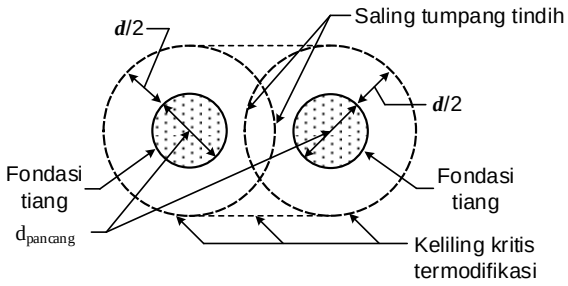
STANDAR	PENJELASAN
memenuhi persyaratan keseimbangan dan kompatibilitas geometrik.	desain yang diperoleh menunjukkan semua kriteria kekuatan dan kemampuan layan terpenuhi. Desain fondasi dapat dicapai melalui solusi klasik berdasarkan teori kontinuum linear elastik, solusi numerik berdasarkan elemen diskrit, atau analisis garis leleh (*yield-line analysis*). Pada semua kasus, analisis dan evaluasi kondisi tegangan di titik beban yang bekerja atau reaksi tiang akibat geser dan torsi, maupun lentur, harus dimasukkan.
13.2.6.3 Desain fondasi yang didasarkan pada pemodelan *strut-and-tie* seperti yang dijelaskan Pasal 23 harus diizinkan.	**R13.2.6.3** Contoh aplikasi ketentuan ini adalah desain *pile cap* didukung oleh tiang, seperti ditunjukkan pada Gambar R13.1.1 yang mana dapat didesain menggunakan pemodelan tiga dimensi *strut-and-tie* sesuai dengan Pasal 23 (Adebar et al. 1990).
13.2.6.4 Momen eksternal pada setiap penampang fondasi jalur, fondasi telapak, atau *pile cap* harus dihitung terhadap bidang vertikal melalui komponen struktur dan menghitung momen dari gaya yang bekerja di seluruh area komponen struktur pada satu sisi komponen bidang vertikal tersebut.	
13.2.7 *Penampang kritis untuk fondasi dangkal dan pile cap*	**R13.2.7** *Penampang kritis untuk fondasi dangkal dan pile cap*
13.2.7.1 M_u pada komponen struktur daerah tumpuan harus diizinkan untuk dihitung pada penampang kritis seperti yang didefinisikan pada Tabel 13.2.7.1.	

Tabel 13.2.7.1 – Lokasi penampang kritis untuk M_u

Komponen tertopang	Lokasi penampang kritis
Kolom atau pedestal	Muka kolom atau pedestal
Kolom dengan pelat dasar baja	Setengah dari jarak antara muka kolom dan ujung pelat dasar baja
Dinding beton	Muka dinding
Dinding batu bata	Setengah dari jarak antara pusat dan muka dinding batu bata

13.2.7.2 Lokasi penampang kritis untuk gaya geser terfaktor sesuai dengan 7.4.3 dan 8.4.3 untuk geser satu arah atau	**R13.2.7.2** Kekuatan geser fondasi ditentukan oleh kondisi yang lebih ekstrim (lihat 8.5.3.1.1 dan 8.5.3.1.2). Penampang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
8.4.4.1 untuk geser dua arah harus diukur dari lokasi penampang kritis untuk M_u sesuai 13.2.7.1.	kritis untuk geser diukur dari muka komponen penumpu (kolom, pedestal, atau dinding), kecuali untuk dinding pasangan batu bata atau komponen penumpu lainnya dengan dasar pelat baja. Perhitungan geser memerlukan reaksi tanah yang diperoleh dari beban-beban terfaktor, dan kekuatan desain yang sesuai Pasal 22. Jika diperlukan, geser di sekeliling individu tiang harus dicek sesuai 8.5.3.1.2. Jika keliling geser yang saling tumpang tindih, maka modifikasi keliling kritis b_0 harus diambil dari porsi *envelope* terkecil keliling geser individual yang menahan geser kritis pada kelompok tiang yang ditinjau. Ilustrasi untuk situasi ini ditunjukkan pada Gambar. R13.2.7.2.
	 **Gambar R13.2.7.2 – Modifikasi keliling kritis untuk geser dengan keliling kritis yang saling tumpang tindih**
13.2.7.3 Kolom atau pedestal berbentuk bundar atau poligon beraturan diizinkan untuk diberlakukan sebagai komponen struktur persegi dengan luas yang ekuivalen saat menghitung penampang kritis untuk momen, geser, maupun penyaluran tulangan.	
13.2.8 *Penyaluran tulangan pada fondasi dangkal dan pile cap*	
13.2.8.1 Penyaluran tulangan harus sesuai dengan Pasal 25.	
13.2.8.2 Gaya tarik atau tekan yang dihitung pada tiap penampang tulangan harus disediakan pada setiap sisi bagian tersebut.	
13.2.8.3 Penampang kritis untuk penyaluran tulangan harus diasumsikan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pada lokasi yang sama seperti dijelaskan 13.2.7.1 untuk momen maksimum terfaktor dan pada semua bidang vertikal lainnya bila terjadi perubahan pada penampang atau tulangan.	
13.2.8.4 Pengangkuran yang memadai harus disediakan oleh tulangan tarik bila tegangan pada tulangan tidak berbanding lurus terhadap momen, seperti pada fondasi miring, berundak, atau tirus; atau bila tulangan tarik tidak paralel terhadap permukaan tekan.	
13.3 - Fondasi dangkal	**R13.3 - Fondasi dangkal**
13.3.1 *Umum*	**R13.3.1** *Umum*
13.3.1.1 Luas dasar minimum fondasi harus dihitung dari gaya dan momen tak terfaktor yang diteruskankan oleh fondasi ke tanah atau batuan dan tegangan tumpu yang diizinkan yang memenuhi prinsip-prinsip mekanika tanah atau batuan.	**R13.3.1.1** Penjelasan umum mengenai ukuran fondasi dangkal dapat dilihat pada R13.2.6.1.
13.3.1.2 Ketebalan fondasi total harus dipilih sedemikian rupa sehingga ketebalan efektif tulangan bawah sekurang-kurangnya adalah 150 mm.	
13.3.1.3 Pada fondasi miring, berundak, atau tirus, kedalaman dan lokasi undakan atau sudut kemiringan harus sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan desain untuk setiap penampang.	**R.13.3.1.3** Pengangkuran tulangan pada fondasi miring, fondasi tangga, atau fondasi tirus sesuai dengan 13.2.8.4.
13.3.2 *Fondasi dangkal satu arah*	
13.3.2.1 Desain dan pendetailan fondasi dangkal satu arah, termasuk fondasi jalur, fondasi terkombinasi, dan balok ikat, harus berdasarkan pasal ini dan disesuaikan dengan ketentuan pada Pasal 7 dan Pasal 9.	
13.3.2.2 Tulangan harus didistribusikan secara seragam di seluruh lebar fondasi satu arah.	
13.3.3 *Fondasi telapak dua arah*	**R13.3.3** *Fondasi telapak dua arah*
13.3.3.1 Desain dan pendetailan fondasi telapak dua arah harus berdasarkan pasal ini dan harus disesuaikan dengan ketentuan pada Pasal 7 dan Pasal 8.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
13.3.3.2 Pada fondasi dua arah persegi, tulangan harus didistribusikan secara merata ke seluruh lebar fondasi di kedua arah.	
13.3.3.3 Pada fondasi segi empat, tulangan harus didistribusikan sesuai dengan a) dan b): a) Tulangan pada arah terpanjang harus didistribusikan merata di seluruh lebar fondasi b) Untuk tulangan pada arah pendek, sebagian dari total tulangan, $\gamma_s A_s$, harus didistribusikan merata dalam jarak sama dengan sisi terpendek fondasi yang berpusat pada garis tengah kolom atau pedestal. Sisa tulangan yang dibutuhkan pada sisi terpendek, $(1-\gamma_s)A_s$, harus didistribusikan merata di luar jalur tengah fondasi, dimana γ_s dihitung: $$\gamma_s = \frac{2}{(\beta+1)} \quad (13.3.3.3)$$ dimana β adalah rasio antara sisi panjang terhadap sisi pendek fondasi.	**R13.3.3.3** Untuk meminimalisasi potensi kesalahan pada penempatan tulangan, praktik yang umum adalah jumlah tulangan ditingkatkan pada sisi terpendek dengan $2\beta/(\beta+1)$ dan spasi antar tulangan dibuat seragam di seluruh dimensi terpanjang fondasi (CRSI Handbook 1984; Fling 1987).
13.3.4 *Fondasi gabungan dua arah dan fondasi rakit*	**R13.3.4** *Fondasi telapak kombinasi dua arah dan fondasi rakit*
13.3.4.1 Desain dan pendetailan fondasi gabungan dua arah dan fondasi rakit harus berdasarkan pasal ini dan harus disesuaikan dengan ketentuan Pasal 8.	**R13.3.4.1** Detail rekomendasi untuk desain fondasi telapak kombinasi dua arah dan fondasi rakit dapat dilihat pada ACI 336.2R dan juga merujuk pada Kramrisch and Rogers (1961).
13.3.4.2 Metode desain langsung yang dijelaskan pada 8.10 tidak boleh digunakan untuk mendesain fondasi gabungan dan fondasi rakit.	
13.3.4.3 Distribusi tegangan tumpu di bawah fondasi gabungan dan fondasi rakit harus konsisten terhadap properti tanah atau batuan dan struktur, dan didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika tanah atau batuan yang telah mapan.	**R13.3.4.3** Metode desain menggunakan beban terfaktor dan faktor reduksi kekuatan ϕ dapat dipakai untuk fondasi telapak kombinasi dua arah dan fondasi rakit, terlepas dari distribusi tekanan tumpu.
13.3.4.4 Tulangan minimum pada fondasi rakit nonprategang harus sesuai dengan 8.6.1.1.	**R13.3.4.4** Untuk meningkatkan kontrol retak akibat gradien termal dan untuk mencegah potensi retak akibat geser pons

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dengan penggunaan tulangan tarik, perencana ahli bersertifikat harus memperhatikan pemasangan tulangan menerus pada masing-masing arah di dekat kedua muka fondasi rakit.
13.3.5 *Dinding sebagai balok sloof*	
13.3.5.1 Desain dinding sebagai balok *sloof* harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada Pasal 9.	
13.3.5.2 Jika dinding balok *sloof* dipertimbangkan sebagai balok tinggi sesuai dengan 9.9.1.1, desain harus memenuhi persyaratan pada 9.9.	
13.3.5.3 Dinding balok *sloof* harus memenuhi persyaratan minimum dari 11.6.	
13.4 - Fondasi dalam	**R13.4 - Fondasi dalam**
13.4.1 *Umum*	**R13.4.1** *Umum*
13.4.1.1 Jumlah dan susunan tiang, tiang bor, maupun *caisson* harus ditentukan dari gaya dan momen tak terfaktor yang ditransmisikan ke komponen tiang tersebut, dan kapasitas komponen tiang izin berdasarkan prinsip-prinsip mekanika tanah dan batuan.	**R13.4.1.1** Penjelasan umum mengenai pemilihan jumlah dan susunan fondasi tiang, tiang bor, dan *caisson* dijelaskan R13.2.6.1.
13.4.2 *Pile cap*	**R13.4.2** *Pile cap*
13.4.2.1 Ketebalan total *pile cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm.	
13.4.2.2 Momen dan gaya geser terfaktor harus diizinkan untuk dihitung dari reaksi setiap tiang yang diasumsikan terkonsentrasi pada titik pusat penampang tiang.	
13.4.2.3 Terkecuali untuk *pile cap* yang didesain sesuai 13.2.6.3, *pile cap* harus didesain sedemikian rupa sehingga (a) dipenuhi untuk fondasi satu arah dan a) dan b) dipenuhi untuk fondasi dua arah.	
a) $\phi V_n \geq V_u$, di mana V_n harus dihitung sesuai 22.5 untuk geser satu arah, V_u	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
harus dihitung sesuai 13.4.2.5, dan ϕ harus sesuai 21.2. b) $\phi V_n \geq V_u$, di mana V_n harus dihitung sesuai 22.6 untuk geser dua arah, V_u harus dihitung sesuai 13.4.2.5, dan ϕ harus sesuai 21.2.	
13.4.2.4 Bila *pile cap* didesain sesuai dengan pemodelan *strut-and-tie* seperti yang diizinkan pada 13.2.6.3, kuat tekan beton efektif dari strut, f_{ce}, harus dihitung sesuai 23.4.3, di mana $\beta_s = 0,60\lambda$, dan λ sesuai dengan 19.2.4.	**R13.4.2.4** Kuat tekan beton efektif ditentukan berdasarkan rumusan (c) pada Tabel 23.4.3 karena umumnya sangat sulit memberikan tulangan pengekang yang sesuai 23.5 untuk *pile cap*.
13.4.2.5 Perhitungan gaya geser terfaktor untuk berbagai penampang yang melalui *pile cap* sesuai dengan a) hingga c): a) Seluruh reaksi dari setiap tiang dengan pusatnya terletak pada $d_{tiang}/2$ atau lebih di luar penampang harus dipertimbangkan menghasilkan gaya geser pada penampang tersebut. b) Reaksi dari tiap tiang dengan pusatnya terletak pada $d_{tiang}/2$ atau lebih ke dalam penampang harus dipertimbangkan tidak menghasilkan gaya geser pada penampang tersebut. c) Untuk posisi antara, bagian dari reaksi pada tiang yang dipertimbangkan menghasilkan gaya geser pada penampang tersebut harus didasarkan pada interpolasi linier antara nilai penuh pada jarak $d_{tiang}/2$ di luar penampang tersebut dan nilai nol pada $d_{tiang}/2$ di dalam penampang tersebut.	**R13.4.2.5** Jika tiang terpasang di daerah penampang kritis d atau $d/2$ dari muka kolom untuk geser satu arah atau geser dua arah, batas atas kuat geser pada penampang yang berdekatan dengan muka kolom harus dipertimbangan. *Handbook CRSI (1984)* memberikan pedoman untuk situasi ini.
13.4.3 *Komponen fondasi dalam*	
13.4.3.1 Bagian dari komponen fondasi berada di udara, air, dan tanah yang tidak mampu memberikan tahanan yang memadai di seluruh panjang komponen tersebut untuk mencegah tekuk lateral harus didesain sebagai kolom sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada Pasal 10.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 14 – BETON POLOS

14.1 – Ruang lingkup

14.1.1 Pasal ini menjelaskan desain komponen-komponen beton polos, termasuk a) dan b):

a) Komponen-komponen dalam struktur gedung
b) Komponen-komponen dalam struktur non-gedung seperti busur (*arches*), struktur utilitas bangunan bawah tanah, dinding gravitasi, dan dinding pelindung.

14.1.2 Pasal ini tidak mencakup desain tiang cor di tempat, dan *pier* yang tertanam di tanah.

14.1.3 Beton polos hanya diperbolehkan pada kasus a) hingga d):

a) Komponen-komponen yang ditopang secara menerus oleh tanah atau batang struktural lainnya yang mampu memberikan tumpuan vertikal menerus
b) Komponen-komponen dimana aksi busur memberikan aksi tekan pada semua kondisi beban
c) Dinding
d) *Pedestal*

14.1.4 Beton polos diperbolehkan untuk struktur dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D, E, atau F, hanya untuk kasus a) dan b):

a) Fondasi telapak menopang struktur beton bertulang cor di tempat, atau dinding batu bata, jika fondasi telapak diperkuat dengan tulangan longitudinal sejumlah setidaknya

R14.1 – Ruang lingkup

R14.1.2 Elemen struktural, seperti tiang beton polos cor di tempat dan *pier* tertanam dalam tanah, atau material lain yang cukup kaku untuk memberikan kuat lateral untuk menghindari tekuk, tidak dibahas dalam standar ini. Elemen-elemen tersebut dibahas dalam peraturan umum bangunan.

R14.1.3 Karena kekuatan dan integritas struktur untuk komponen struktur beton polos hanya tergantung pada ukuran komponen, kekuatan beton, dan properti beton lainnya, penggunaan struktur beton polos dibatasi pada komponen dengan kondisi berikut:

a) Komponen dalam kondisi tekan
b) Komponen yang dapat ditoleransi terhadap retak yang acak tanpa merugikan integritas struktur
c) Jika daktilitas bukan properti utama pada desain

Kekuatan tarik beton bisa digunakan dalam desain komponen struktur beton polos. Kekuatan tarik karena kekangan dari rangkak, susut, atau pengaruh temperatur harus dipertimbangkan untuk mencegah retak yang tak terkontrol atau kegagalan struktur. Untuk konstruksi hunian berada dalam lingkup ACI 332, mengacu ke 1.4.5.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
dua tulangan. Tulangan setidaknya D13 dan mempunyai luas total tulangan kurang dari 0,002 kali luas penampang bruto fondasi telapak. Tulangan kontinu harus dipasang di ujung dan pertemuan. b) Elemen fondasi 1) hingga 3) untuk rumah tinggal yang kurang dari tiga tingkat, dan dibangun dengan dinding penumpu (*stud bearing wall*): 1) Fondasi telapak yang menopang dinding 2) Fondasi setempat yang menopang kolom atau pedestal 3) Fondasi atau dinding basemen (*basement*) dengan ketebalan tidak kurang dari 190 mm dan menahan tanah timbunan tidak seimbang tidak lebih dari 1,2 m.	
14.1.5 Beton polos tidak boleh digunakan untuk konstruksi kolom dan *pile cap.*	**R14.1.5** Karena beton polos tidak memiliki daktilitas yang cukup untuk konstruksi kolom, dan karena retak acak pada beton tanpa tulangan akan membahayakan integritas struktur, standar ini tidak memperbolehkan penggunaan beton polos untuk konstruksi kolom. Namun memperbolehkan penggunaan beton polos untuk konstruksi pedestal yang dibatasi dengan rasio tinggi tak terkekang terhadap dimensi lateral terkecil sebesar 3 atau kurang (mengacu pada 14.1.3(d) dan 14.3.3).
14.2 - Umum **14.2.1** *Material*	**R14.2 - Umum**
14.2.1.1 Desain properti beton harus sesuai dengan Pasal 19.	
14.2.1.2 Jika dibutuhkan tulangan baja, harus sesuai dengan Pasal 20.	
14.2.1.3 Material, desain, dan persyaratan pendetailan untuk penanaman beton harus sesuai dengan 20.7.	
14.2.2 *Sambungan ke komponen lain*	**R14.2.2** *Sambungan ke komponen lain*
14.2.2.1 Gaya tarik tidak boleh disalurkan melalui ujung luar, *joint* konstruksi, *joint* kontraksi, atau *joint* isolasi dari elemen individu beton polos.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
14.2.2.2 Dinding harus ditahan terhadap translasi lateral.	**R14.2.2.2** Pengaturan untuk dinding beton polos hanya bisa diterapkan pada dinding dengan penahan lateral sedemikian rupa untuk mencegah perpindahan lateral (*lateral displacement*) pada bagian atas dan bawah elemen individual dinding. Standar ini tidak mencakup dinding tanpa pendukung horizontal untuk mencegah perpindahan lateral pada bagian atas dan bawah elemen individual dinding. Dinding tanpa penahan lateral harus didesain sebagai komponen struktur beton bertulang yang sesuai dengan standar ini.
14.2.3 *Pracetak*	**R14.2.3** *Pracetak* – Komponen struktur pracetak beton polos mempunyai semua batasan dan ketentuan yang sama dengan beton cor di tempat yang dibahas pada pasal ini. Pendekatan untuk joint kontraksi atau isolasi berbeda dengan beton cor di tempat karena bagian terbesar susut pada komponen pracetak terjadi sebelum ereksi. Untuk menjamin stabilitas, komponen pracetak harus dihubungkan dengan komponen lainnya. Sambungan tidak boleh mentransfer tarik.
14.2.3.1 Desain komponen pracetak harus mencakup semua kondisi pembebanan dari tahap awal fabrikasi hingga struktur selesai, termasuk pembukaan cetakan, penyimpanan, transportasi, dan ereksi.	
14.2.3.2 Komponen pracetak harus dihubungkan untuk mentransfer gaya lateral ke dalam sistem struktur yang mampu menahan gaya-gaya tersebut.	
14.3 - Batasan desain	**R14.3 - Batasan desain**
14.3.1 *Dinding penumpu*	**R14.3.1** *Dinding penumpu* – Dinding beton polos umumnya digunakan untuk konstruksi dinding basemen gedung hunian dan gedung komersial ringan pada daerah dengan gaya seismik kecil atau tidak ada sama sekali. Meskipun standar ini tidak menetapkan batasan tinggi maksimum untuk dinding beton polos, namun penggunaan beton polos untuk struktur yang sifatnya minor tidak boleh di ekstrapolasi untuk struktur dengan banyak lantai dan struktur yang bersifat masif dimana perbedaan penurunan tanah, angin, gempa, atau beban tak terduga lainnya akan membutuhkan dinding yang mempunyai
14.3.1.1 Tebal minimum dinding penumpu harus sesuai dengan Tabel 14.3.1.1.	

Tabel 14.3.3.1 – Tebal minimum dinding penumpu

Tipe dinding	Tebal minimum	
Umum	Terbesar dari:	140 mm
		1/24 yang terkecil dari panjang dan tinggi tak tertumpu
Basemen eksterior	190 mm	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

Fondasi	190 mm

daktilitas dan kemampuan untuk mempertahankan integritas struktur saat retak. Untuk kondisi tersebut, Komite ACI 318 merekomendasikan penggunaan dinding yang didesain sesuai Pasal 11.

14.3.2 *Fondasi telapak*

R14.3.2 *Fondasi telapak*

14.3.2.1 Ketebalan fondasi telapak sekurang-kurangnya 200 mm.

R14.3.2.1 Ketebalan fondasi telapak dengan beton polos dengan proporsi normal secara umum dikontrol oleh kekuatan lentur (tulangan tarik terjauh tidak lebih dari $\phi 0{,}42\lambda\sqrt{f_c'}$) daripada kekuatan geser (mengacu R14.5.5.1). Untuk fondasi telapak yang di cor terhadap tanah, ketebalan rata-rata h digunakan untuk perhitungan kekuatan dijelaskan pada 14.5.1.7.

14.3.2.2 Luas dasar fondasi telapak harus ditentukan dari gaya dan momen tak terfaktor yang disalurkan oleh fondasi ke tanah dan tekanan izin tanah yang dipilih berdasarkan prinsip-prinsip mekanika tanah.

14.3.3 *Pedestal*

R14.3.3 *Pedestal*

14.3.3.1 Rasio tinggi tak tertumpu terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata tidak boleh melebihi 3.

R14.3.3.1 Batasan tinggi-ketebalan untuk beton polos pedestal tidak bisa diterapkan untuk bagian pedestal yang tertanam di tanah yang memberikan kekangan lateral terhadap pedestal.

14.3.4 *Joint kontraksi dan isolasi*

R14.3.4 *Joint kontraksi dan isolasi*

14.3.4.1 *Joint* kontraksi atau *joint* isolasi harus disediakan untuk membagi komponen-komponen struktur beton polos menjadi elemen-elemen lentur diskontinu. Ukuran masing-masing elemen harus dipilih dengan tujuan membatasi tegangan yang disebabkan oleh pembatasan gerakan dari pengaruh rangkak, susut, dan suhu.

R14.3.4.1 *Joint* pada konstruksi beton polos adalah penting dalam pertimbangan desain. Dalam struktur beton bertulang, tulangan berfungsi untuk menahan tegangan karena kekangan dari rangkak, susut, atau efek suhu. Pada beton polos, *joint* merupakan satu-satunya yang berfungsi mengontrol dan mengembalikan tegangan tarik yang berkembang. Beton polos harus cukup kecil, atau terbagi menjadi elemen yang lebih kecil oleh *joint* untuk mengontrol tegangan internal. *Joint* bisa dalam bentuk *joint* kontraksi atau *joint* isolasi. Umumnya, memerlukan minimal reduksi sebesar 25 persen dari ketebalan komponen agar *joint* kontraksi menjadi efektif. *Joint* harus diatur sedemikian rupa agar tidak ada gaya tarik aksial atau lentur terbentuk pada *joint* setelah terjadi retak, kondisi ini disebut diskontinuitas lentur. Dimana retak acak umumnya yang terjadi karena rangkak, susut, dan efek suhu tidak akan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	mempengaruhi integritas struktur, sementara yang lain diperbolehkan (retak transversal pada dinding fondasi telapak menerus), untuk kondisi ini kontraksi transversal atau *joint* isolasi tidak diperlukan.
14.3.4.2 Jumlah dan lokasi *joint* kontraksi atau *joint* isolasi ditentukan dengan pertimbangan a) hingga f): a) Pengaruh kondisi iklim b) Pemilihan dan proporsi material c) Campuran, pengecoran, dan *curing* beton d) Derajat pengekangan pergerakan e) Tegangan akibat beban pada komponen f) Teknik konstruksi	
14.4 - Kekuatan perlu **14.4.1 *Umum***	**R14.4 - Kekuatan perlu** **R14.4.1** *Umum*
14.4.1.1 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban terfaktor dalam Pasal 5.	**R14.4.1.1** Komponen struktur beton polos diproporsikan menggunakan beban dan gaya terfaktor agar mencapai kekuatan yang cukup. Jika beban melebihi kapasitas kekuatan, maka dimensi komponen struktur harus diperbesar atau kekuatan material harus ditingkatkan, atau keduanya, atau komponen struktur dirubah menjadi beton bertulang sesuai dengan standar ini. Bertambahnya penampang bisa saja merugikan, tegangan oleh beban mungkin saja berkurang namun tegangan karena pengaruh rangkak, susut, dan suhu mungkin bertambah.
14.4.1.2 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan prosedur analisis dalam Pasal 6.	
14.4.1.3 Tidak diperkenankan mengasumsikan adanya kontinuitas lentur akibat tarik di antara dua komponen struktur beton polos yang bersebelahan.	
14.4.2 *Dinding*	
14.4.2.1 Dinding harus didesain dengan eksentrisitas akibat momen maksimum bersama beban aksial tapi tidak kurang dari $\mathbf{0,1}\boldsymbol{h}$, dimana $\boldsymbol{h}$ adalah ketebalan dinding.	
14.4.3 *Fondasi telapak*	
14.4.3.1 *Umum*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

14.4.3.1.1 Untuk fondasi telapak yang menopang kolom beton bundar, poligon beraturan, atau *pedestal*, diperbolehkan menganggap luas penampang persegi ekuivalen sebagai asumsi untuk menentukan penampang kritis.

14.4.3.2 *Momen terfaktor*

14.4.3.2.1 Lokasi penampang kritis untuk M_u harus sesuai Tabel 14.4.3.2.1.

Tabel 14.4.3.2.1 – Lokasi penampang kritis untuk M_u

Komponen struktur tertumpu	Lokasi penampang kritis
Kolom atau *pedestal*	Muka kolom atau *pedestal*
Kolom dengan *base plate* baja	Pertengahan antara muka kolom dan tepi *base plate* baja
Dinding beton	Muka dinding
Dinding bata	Pertengahan antara pusat dan muka dinding bata

14.4.3.3 *Geser satu arah terfaktor*

14.4.3.3.1 Untuk geser satu arah terfaktor, lokasi penampang kritis harus diambil sejauh h dari a) dan b), dimana h adalah ketebalan fondasi telapak.

a) Lokasi sesuai Tabel 14.4.3.2.1
b) Muka beban terpusat atau muka perletakan

14.4.3.3.2 Penampang antara a) atau b) sesuai 14.4.3.3.1 dan penampang kritis untuk geser dapat didesain untuk menahan V_u.

14.4.3.4 *Geser dua arah terfaktor*

14.4.3.4.1 Untuk geser dua arah, lokasi penampang kritis harus diambil sedemikian rupa sehingga nilai keliling b_o adalah minimum tetapi tidak lebih dekat daripada $h/2$ dengan mengacu pada poin a) hingga c):

a) Lokasi sesuai Tabel 14.4.3.2.1
b) Muka beban terpusat atau muka perletakan
c) Perubahan pada ketebalan fondasi telapak

PENJELASAN

R14.4.3.4 *Geser dua arah terfaktor*

R14.4.3.4.1 Penampang kritis pada pasal ini sama dengan elemen beton bertulang yang didefinisikan pada 22.6.4.1, kecuali penampang kritis untuk beton polos tidak berbasis pada d, melainkan h.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
14.4.3.4.2 Untuk kolom persegi atau persegi panjang, beban terpusat atau daerah perletakan, penampang kritis untuk geser dua arah dapat dihitung dengan mengasumsikan sisi lurus.	
14.5 - Kekuatan desain	**R14.5 - Kekuatan desain**
14.5.1 *Umum*	**R14.5.1** *Umum*
	R14.5.1.1 Mengacu pada R9.5.1.1.
14.5.1.1 Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang diterapkan, kekuatan desain pada tiap penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk dalam a) hingga d). Interaksi antara efek beban harus diperhitungkan: a) $\phi M_n \geq M_u$ b) $\phi P_n \geq P_u$ c) $\phi V_n \geq V_u$ d) $\phi B_n \geq B_u$	
14.5.1.2 Nilai ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	**R14.5.1.2** Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk beton polos nilainya sama untuk segala kondisi. Karena kekuatan geser dan kekuatan tarik lentur untuk beton polos tergantung dari karakteristik kekuatan tarik beton, tanpa kekuatan cadangan maupun daktilitas karena tidak adanya tulangan, diperbolehkan menggunakan nilai faktor reduksi kekuatan yang sama untuk bending dan geser.
14.5.1.3 Kekuatan tarik beton dapat dipertimbangkan dalam desain.	**R14.5.1.3** Tarik lentur diperhitungkan untuk desain komponen struktur beton polos yang menerima beban, jika tegangan karena beban tidak melebihi tegangan izin, dan adanya *joint* konstruksi, *joint* konstraksi, *joint* isolasi untuk melepaskan tegangan tarik resultan akibat kekangan pengaruh rangkak, susut dan suhu.
14.5.1.4 Perhitungan kekuatan lentur dan aksial harus didasarkan pada hubungan tegangan-regangan linear baik dalam kondisi tarik dan tekan.	
14.5.1.5 Nilai λ untuk beton ringan sesuai 19.2.4.	
14.5.1.6 Kekuatan tulangan baja harus diabaikan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
14.5.1.7 Ketika menghitung komponen kekuatan dalam lentur, kombinasi lentur dan beban aksial, atau geser, seluruh penampang harus dipertimbangkan dalam desain, kecuali untuk beton yang dicor langsung di tanah dimana tebal keseluruhan h harus dikurangi 50 mm dari ketebalan yang telah disyaratkan.	**R14.5.1.7** Tujuan mereduksi ketebalan rata-rata h untuk beton yang dicor di tanah adalah untuk mengantisipasi ketidakrataan penggalian dan pengaruh beton yang terkontaminasi tanah.
14.5.1.8 Kecuali ditunjukkan oleh analisis, panjang dinding horizontal yang dianggap efektif untuk menahan setiap beban terpusat vertikal harus tidak boleh melebihi jarak pusat ke pusat di antara beban-beban atau lebar tumpuan ditambah empat kali ketebalan dinding.	
14.5.2 *Lentur*	**R14.5.2** *Lentur*
14.5.2.1 Nilai M_n harus diambil yang terkecil dari Pers. (14.5.2.1a) yang dihitung pada muka tarik dan Pers. (14.5.2.1b) yang dihitung pada muka tekan: $M_n = 0{,}42\lambda\sqrt{f_c'}S_m$ (14.5.2.1a) $M_n = 0{,}85\sqrt{f_c'}S_m$ (14.5.2.1b) dimana S_m adalah modulus elastisitas penampang.	**R14.5.2.1** Pers. (14.5.2.1b) berlaku sebagai kontrol terhadap penampang nonsimetris.
14.5.3 *Tekan aksial*	**R14.5.3** *Tekan aksial*
14.5.3.1 Nilai P_n dihitung dengan: $P_n = 0{,}60\, f_c'\, A_g \left[1 - \left(\frac{\ell_c}{32h}\right)^2\right]$ (14.5.3.1)	**R14.5.3.1** Pers. (14.5.3.1) menjelaskan lingkup kondisi ujung elemen beton polos yang terkekang. Faktor panjang efektif diabaikan sebagai pengubah jarak vertikal antara tumpuan ℓ_c, persamaan ini aman untuk dinding dengan asumsi tumpuan pin yang berfungsi sebagai perkuatan karena menerima translasi lateral seperti yang tercantum pada 14.2.2.2.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

14.5.4 *Lentur dan tekan aksial*

14.5.4.1 Kecuali diizinkan oleh 14.5.4.2, dimensi komponen harus diproporsikan sesuai Tabel 14.5.4.1, dimana M_n dihitung sesuai 14.5.2.1(b) dan P_n dihitung sesuai 14.5.3.1.

Tabel 14.5.4.1 – Kombinasi lentur dan tekan aksial

Lokasi	Persamaan interaksi	
Muka tarik	$\frac{M_u}{S_m} + \frac{P_u}{A_g} \le \phi 0{,}42\lambda\sqrt{f_c'}$	(a)
Muka tekan	$\frac{Mu}{\phi Mn} + \frac{Pu}{\phi Pn} \le 1{,}0$	(b)

14.5.4.2 Untuk desain dinding pada penampang solid persegi panjang dimana $M_u \le P_u\left(\frac{h}{6}\right)$, M_u boleh diabaikan. P_n dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_n = 0{,}45 f_c' A_g\left[1-\left(\frac{\ell_c}{32h}\right)^2\right] \qquad (14.5.4.2)$$

14.5.5 *Geser*

14.5.5.1 Nilai V_n harus dihitung sesuai Tabel 14.5.5.1.

Tabel 14.5.5.1 – Kekuatan geser nominal

Aksi geser	Kekuatan geser nominal V_n		
Satu arah	$0{,}11\lambda\sqrt{f_c'}b_w h)$		(a)
Dua arah	Terkecil dari:	$\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\left(0{,}11\lambda\sqrt{f_c'}b_o h\right)$ [1]	(b)
		$2(0{,}11\lambda\sqrt{f_c'}b_o h)$	(c)

[1] β adalah rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dari beban terpusat atau daerah perletakan.

PENJELASAN

R14.5.4 *Lentur dan tekan aksial*

R14.5.4.2 Jika resultan beban berada di tengah sepertiga ketebalan dinding, dinding beton polos didesain menggunakan penyederhanaan Pers. (14.5.4.2). Beban eksentris dan gaya lateral digunakan untuk menentukan eksentrisitas total dari gaya aksial terfaktor (P_u). Persamaan (14.5.4.2) menjelaskan cakupan kondisi ujung yang terkekang pada desain dinding. Batasan pada 14.2.2.2, 14.3.3.1, dan 14.5.1.8 berlaku apabila dinding proporsional dengan 14.5.4.1 atau 14.5.4.2.

R14.5.5 *Geser*

R14.5.5.1 Proporsi komponen struktur beton polos umumnya tidak dikontrol oleh kekuatan geser, tetapi oleh kekuatan tarik. Kekuatan geser (sebagai pengganti tegangan tarik utama) jarang akan mengontrol. Namun, sulit untuk memperkirakan semua kondisi dimana geser perlu diinvestigasi, seperti pengunci geser (*shear key*). Komite ACI 318 bertugas untuk menginvestigasi kondisi seperti ini.

Kebutuhan geser untuk beton polos berawal dari asumsi penampang tak retak. Runtuh geser pada beton polos akan menjadi runtuh tarik diagonal yang terjadi ketika nilai tegangan tarik utama di dekat sumbu sentroidal sama dengan kekuatan tarik beton. Karena sebagian besar tegangan tarik utama berasal dari geser, standar ini berfungsi untuk mengantisipasi runtuh tarik dengan membatasi geser yang diizinkan pada sumbu sentroidal, yang dihitung dari persamaan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

14.5.6 *Tumpu (bearing)*

14.5.6.1 Nilai B_n harus dihitung sesuai Tabel 14.5.6.1.

Tabel 14.5.6.1 – Kekuatan tumpu nominal

Kondisi geometri relatif	B_n		
Muka tumpuan lebih lebar dari pada semua sisi luas yang terbebani	Terkecil dari:	$\sqrt{A_2/A_1}(0{,}85 f_c' A_1)$	(a)
		$2(0{,}85 f_c' A_1)$	(b)
Lainnya	$0{,}85 f_c' A_1$		(c)

14.6 - Pendetailan tulangan

14.6.1 Sedikitnya dua tulangan D16 harus disediakan pada semua bukaan jendela dan pintu. Tulangan tersebut harus diteruskan sekurang-kurangnya 600 mm melewati sudut-sudut bukaan.

PENJELASAN

berikut untuk penampang dengan material homogen:

$$v = VQ / Ib$$

v dan V adalah tegangan geser dan gaya geser pada penampang; Q adalah momen statis pada daerah di atas atau di bawah sentroid penampang bruto pada sumbu sentroidal; I adalah momen inersia penampang kotor; dan b adalah lebar bagian penampang dimana tegangan geser dihitung.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 15 – *JOINT* BALOK-KOLOM DAN PELAT-KOLOM

15.1 – Ruang lingkup

15.1.1 Pasal ini diperuntukan untuk perencanaan dan pendetailan *joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang dicor di tempat.

15.2 – Umum

15.2.1 *Joint* balok-kolom dan pelat-kolom harus memenuhi 15.3 untuk transfer gaya aksial kolom melalui sistem lantai.

15.2.2 Apabila beban gravitasi, angin, gempa, atau gaya lateral lainnya menyebabkan terjadinya transfer momen pada *joint* balok-kolom dan pelat-kolom, maka gaya geser yang diakibatkan oleh transfer momen tersebut harus dipertimbangkan dalam perencanaan.

15.2.3 *Joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang mentransfer momen ke kolom harus memenuhi persyaratan pendetailan pada 15.4. *Joint* balok-kolom pada rangka momen khusus, *joint* pelat-kolom pada rangka momen menengah, dan *joint* balok-kolom dan pelat-kolom pada rangka yang tidak direncanakan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik pada struktur yang dikategorikan pada Kategori Desain Seismik (KDS) D, E, atau F, harus direncanakan memenuhi Pasal 18.

15.2.4 Suatu *joint* balok-kolom dapat dianggap terkekang apabila dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh balok yang kedalamannya kira-kira sama.

15.2.5 Suatu *joint* pelat-kolom dapat dianggap terkekang apabila dikekang secara lateral pada keempat sisinya oleh pelat.

15.3 - Transfer gaya aksial kolom melalui sistem lantai

15.3.1 Apabila f_c' kolom lebih besar 1,4 kali dari f_c' sistem lantai, maka transfer gaya aksial melalui sistem lantai harus sesuai dengan a), b), atau c):

R15.2 – Umum

Hasil uji (Hanson dan Conner 1967) menunjukkan bahwa daerah *joint* hubungan balok-kolom pada interior bangunan tidak memerlukan tulangan geser jika *joint* dikekang secara lateral pada ke-empat sisinya oleh balok yang kedalamannya kira-kira sama. Namun, *joint* yang tidak terkekang dengan cara ini, seperti pada eksterior bangunan, memerlukan tulangan geser untuk mencegah kerusakan akibat retak geser (ACI 352R). *Joint* ini mungkin juga membutuhkan tulangan transversal untuk mencegah tekuk tulangan longitudinal kolom.

Untuk daerah di mana gempa kuat dapat terjadi, *joint* mungkin diperlukan untuk menahan pembebanan bolak-balik yang mengembangkan kekuatan lentur dari balok yang bersebelahan. Pasal 18 memberikan persyaratan untuk struktur tahan gempa.

R15.3 - Transfer gaya aksial kolom melalui sistem lantai

Persyaratan bagian ini mempertimbangkan efek kekuatan beton lantai pada kekuatan aksial kolom (Bianchini et al. 1960). Apabila kekuatan beton kolom tidak melebihi kekuatan beton lantai lebih dari 40 %, tidak ada ketentuan khusus yang diperlukan. Untuk kekuatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Beton dengan kekuatan tekan yang dispesifikasikan untuk kolom harus digunakan untuk lantai di lokasi kolom. Beton kolom harus digunakan untuk pelat sejauh jarak 600 mm dari muka kolom dan menyatu dengan beton pelat. b) Kekuatan rencana dari sebuah kolom melalui suatu sistem lantai harus dihitung menggunakan nilai terkecil antara kekuatan beton dengan dowel vertikal dan spiral yang diperlukan untuk mencapai kekuatan yang cukup. c) Untuk *joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang menurut 15.2.4 atau 15.2.5 dapat diizinkan untuk menghitung kekuatan rencana kolom berdasarkan kekuatan beton asumsi pada *joint* tersebut. Angka kekuatan beton ini dapat diambil sebesar 75 % dari kekuatan beton kolom ditambah 35 % dari kekuatan beton pada lantai, dimana kekuatan beton kolom tidak boleh melebihi 2,5 kali kekuatan beton lantai.	beton kolom yang lebih tinggi, metode pada 15.3.1 a) atau 15.3.1 b) dapat digunakan untuk kolom sudut atau tepi. Metode pada 15.3.1 a), b), atau c) dapat digunakan untuk kolom interior dengan kekangan yang cukup pada keempat sisinya. Persyaratan 15.3.1(a) menetapkan antarmuka (*interface*) antara kolom dan lantai beton setidaknya 600 mm ke lantai. Penerapan prosedur penempatan beton yang dijelaskan pada 15.3.1(a) membutuhkan penempatan dua campuran beton yang berbeda dalam sistem lantai. Campuran dengan kekuatan lebih rendah harus diletakkan saat beton berkekuatan lebih tinggi masih plastis dan harus digetarkan secara memadai untuk memastikan beton terintegrasi dengan baik. Adalah penting bahwa beton berkekuatan lebih tinggi di daerah lantai di sekitar kolom ditempatkan sebelum beton berkekuatan lebih rendah di bagian bawah lantai untuk mencegah penempatan yang tidak disengaja dari beton berkekuatan lebih rendah di area kolom. Sebagaimana disyaratkan pada Pasal 26, merupakan tanggung jawab perencana ahli bersertifikat untuk menetapkan pada dokumen konstruksi di mana beton berkekuatan lebih tinggi dan lebih rendah harus ditempatkan. Penelitian (Ospina dan Alexander, 1998) menunjukkan bahwa pelat bermuatan berat tidak memberikan kekakangan sebesar pelat bermuatan ringan saat rasio kekuatan beton kolom terhadap kekuatan beton pelat melebihi kira-kira 2,5. Akibatnya, suatu batas ditempatkan pada rasio kekuatan beton yang diasumsikan dalam desain pada 15.3.1 (c).
15.4 - Detail *joint* **15.4.1** *Joint* balok-kolom dan pelat-kolom yang terkekang menurut 15.2.4 atau 15.2.5, dan bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik, tidak perlu memenuhi ketentuan 15.4.2 untuk tulangan transversal. **15.4.2** Luas kaki tulangan transversal pada setiap arah utama *joint* balok-kolom dan pelat-kolom harus diambil nilai terbesar dari a) dan b):	**R15.4 - Detail *joint*** **R15.4.1** Detail sambungan harus diatur untuk meminimalkan potensi retak akibat rangkak, susut, dan perubahan temperatur. *The Precast/Prestressed Concrete Institute* (MNL 123) memberikan informasi tentang rekomendasi detail sambungan untuk struktur beton pracetak.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

a) $0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_s}{f_{yt}}$

b) $0,35\frac{b_s}{f_{yt}}$

dimana ***b*** adalah dimensi bagian kolom tegak lurus terhadap arah yang ditinjau.

15.4.2.1 Pada *joint* balok-kolom dan pelat-kolom, luas tulangan transversal yang dihitung berdasarkan 15.4.2 harus didistribusikan sepanjang tinggi kolom tidak kurang dari balok tertinggi atau elemen pelat yang merangka ke kolom.

15.4.2.2 Untuk *joint* balok-kolom, spasi tulangan transversal ***s*** tidak boleh melebihi setengah tinggi dari balok dengan tinggi terkecil.

15.4.3 Jika tulangan longitudinal balok atau kolom disambung atau diputus pada *joint*, tulangan transversal tertutup berdasarkan 10.7.6 harus disediakan pada *joint*, kecuali daerah *joint* terkekang menurut 15.2.4 atau 15.2.5.

15.4.4 Penyaluran tulangan longitudinal yang berakhir pada *joint* harus berdasarkan 25.4.

PENJELASAN

R15.4.3 Kecuali *joint* dikekang pada ke-empat sisinya oleh balok atau pelat, tulangan diperlukan agar kekuatan lentur dapat dikembangkan dan dipertahankan akibat beban berulang (Hanson dan Conner 1967; ACI 352R).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 16 – SAMBUNGAN ANTAR KOMPONEN

16.1 – Ruang lingkup

16.1.1 Pasal ini berlaku untuk perancangan *joint* dan sambungan pada pertemuan komponen struktur beton dan untuk penyaluran beban antar permukaan beton, termasuk a) hingga d):

a) Sambungan komponen pracetak
b) Sambungan antara fondasi dengan komponen dicor di tempat atau komponen pracetak
c) Kekuatan geser horizontal dari komponen lentur beton komposit
d) *Bracket* dan korbel

16.2 – Sambungan komponen pracetak

16.2.1 *Umum*

R16.2 – Sambungan komponen pracetak

R16.2.1 *Umum* **-** Detail sambungan harus diatur untuk meminimalkan kemungkinan retak karena kekangan rangkak, susut, dan perubahan suhu. *The Precast/Prestressed Concrete Institute* (MNL 123) memberikan informasi tentang rekomendasi detail sambungan untuk struktur beton pracetak.

16.2.1.1 Penyaluran gaya diizinkan melalui *grouted joints*, pengunci geser, landasan, angkur, sambungan mekanis, tulangan baja, lapisan penutup bertulang, atau suatu kombinasi dari cara-cara tersebut.

R16.2.1.1 Jika dua atau lebih metode sambungan digunakan untuk memenuhi persyaratan untuk penyaluran gaya, masing-masing karakteristik individu beban-deformasi harus dipertimbangkan untuk memastikan mekanisme tersebut bekerja sama sesuai rencana.

16.2.1.2 Keandalan kekuatan sambungan harus diverifikasi dengan analisis atau pengujian.

16.2.1.3 Detail sambungan yang berdasarkan hanya pada friksi yang ditimbulkan oleh beban gravitasi tidak diizinkan.

16.2.1.4 Sambungan dan daerah komponen struktur yang berdekatan dengan sambungan harus dirancang untuk menahan gaya-gaya dan mengakomodasi deformasi akibat semua efek pembebanan pada sistem struktur pracetak.

R16.2.1.4 Perilaku struktural komponen pracetak pada dasarnya mungkin berbeda dari komponen yang dicor di tempat. Desain sambungan untuk meminimalkan atau menyalurkan gaya karena susut, rangkak, perubahan suhu, deformasi elastis, perbedaan penurunan, angin, dan gempa bumi memerlukan pertimbangan khusus dalam konstruksi pracetak.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
16.2.1.5 Perancangan sambungan harus mempertimbangkan efek dari kekangan struktural akibat perubahan volume sesuai dengan 5.3.6.	**R16.2.1.5** Sambungan harus dirancang untuk mengizinkan perpindahan atau menahan gaya yang disebabkan oleh kurangnya penyesuaian, perubahan volume yang disebabkan oleh susut, rangkak, suhu, dan efek lingkungan lainnya. Sambungan yang dirancang menahan gaya harus bisa menahan gaya tanpa kehilangan kekuatan. Asumsi kekangan harus konsisten di semua komponen yang saling berhubungan. Ada juga kasus-kasus di mana gaya sambungan dirancang untuk satu arah, tetapi mungkin mempengaruhi kekuatan sambungan di arah lainnya. Sebagai contoh, tegangan arah longitudinal yang dihasilkan oleh susut pada balok pracetak dapat mempengaruhi kekuatan geser vertikal pada tumpuan korbel.
16.2.1.6 Perancangan sambungan harus mempertimbangkan efek dari toleransi yang ditentukan untuk pabrikasi dan ereksi komponen struktur pracetak.	**R16.2.1.6** Mengacu pada R26.9.1(a).
16.2.1.7 Perancangan suatu sambungan dengan banyak komponen harus mempertimbangkan perbedaan kekakuan, kekuatan, dan daktilitas dari komponen struktur.	
16.2.1.8 Pengikat integritas harus diberikan dalam arah vertikal, longitudinal, dan transversal dan di sekeliling tepi struktur sesuai 16.2.4 atau 16.2.5.	**R16.2.1.8** *PCI Building Code Committee* (1986) memberikan rekomendasi pengikat integritas minimum untuk bangunan dinding beton pracetak.
16.2.2 *Kekuatan perlu*	
16.2.2.1 Kekuatan perlu pada sambungan dan daerah yang berdekatan dengan sambungan harus dihitung sesuai dengan kombinasi pembebanan terfaktor dalam Pasal 5.	
16.2.2.2 Kekuatan perlu pada sambungan dan daerah yang berdekatan dengan sambungan harus dihitung sesuai dengan prosedur analisis pada Pasal 6.	
16.2.3 *Kekuatan desain*	
16.2.3.1 Untuk setiap kombinasi beban yang digunakan, kekuatan desain sambungan komponen pracetak harus memenuhi	

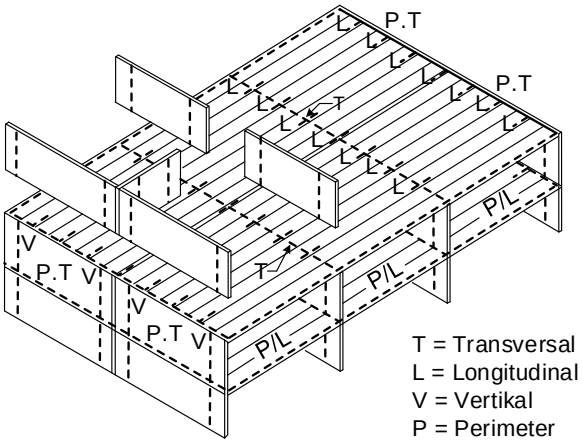
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
$\phi S_n \geq U$ (16.2.3.1)	
16.2.3.2 ϕ harus ditentukan sesuai dengan 21.2.	
16.2.3.3 Pada permukaan kontak antara komponen yang didukung dan yang mendukung, atau antara suatu komponen yang didukung atau yang mendukung dengan suatu elemen tumpuan perantara, kekuatan tumpu nominal untuk permukaan beton, B_n, harus dihitung sesuai dengan 22.8. B_n harus lebih kecil dari kekuatan tumpu nominal beton untuk permukaan komponen struktur yang didukung atau yang mendukung, dan tidak boleh melebihi kekuatan elemen tumpuan perantara, bila ada.	
16.2.3.4 Apabila geser adalah hasil utama akibat pembebanan yang bekerja dan penyaluran gaya geser terjadi di suatu bidang tertentu, maka diperbolehkan untuk menghitung V_n sesuai dengan ketentuan geser friksi pada 22.9.	
16.2.4 *Kekuatan minimum sambungan dan persyaratan pengikat integritas*	**R16.2.4** *Kekuatan minimum sambungan dan persyaratan pengikat integritas*
16.2.4.1 Kecuali apabila berlaku ketentuan 16.2.5, pengikat integritas arah longitudinal dan transversal harus menghubungkan komponen struktur pracetak ke suatu sistem penahan gaya lateral, dan pengikat integritas arah vertikal harus dipasang sesuai dengan 16.2.4.3 untuk menghubungkan lantai dan atap yang berdekatan.	**R16.2.4.1** Tidak dimaksudkan bahwa persyaratan minimum ini menggantikan ketentuan lain yang berlaku dari standar ini untuk perancangan struktur beton pracetak. Pada dasarnya keseluruhan integritas dari suatu struktur dapat ditingkatkan oleh perubahan kecil dalam jumlah, lokasi, dan pendetailan dari penulangan komponen dan dalam pendetailan *connection hardware*. Pengikat integritas harus mendasari lintasan beban yang lengkap, dan penyaluran gaya sepanjang jalur beban harus diarahkan sebisa mungkin secara langsung. Eksentrisitas lintasan beban, terutama dalam sambungan apa pun, harus diminimalkan.
16.2.4.2 Apabila komponen struktur pracetak membentuk diafragma lantai atau atap, maka sambungan antara diafragma dan komponen struktur yang didukung secara lateral oleh diafragma tersebut harus mempunyai kekuatan tarik nominal	**R16.2.4.2** Sambungan antara diafragma dan komponen yang didukung lateralnya oleh diafragma dapat secara langsung atau tidak langsung. Misalnya, kolom dapat dihubungkan langsung ke diafragma, atau dihubungkan ke balok *spandrel*, yang terhubung ke diafragma.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
yang mampu menahan sedikitnya 4,4 kN/m.	
16.2.4.3 Pengikat integritas arah vertikal harus dipasang pada *joint* horizontal antara semua komponen struktur pracetak vertikal, kecuali klading, dan harus memenuhi a) atau b): a) Sambungan antara kolom pracetak harus memiliki pengikat integritas arah vertikal, dengan kekuatan tarik nominal paling sedikit $\mathbf{1{,}4}A_g$, dalam **N**, dimana A_g adalah luas total kolom. Untuk suatu kolom dengan penampang yang lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan tinjauan pembebanan, luas efektif penampang berdasarkan penampang yang diperlukan boleh direduksi. Reduksi luas efektif sedikitnya setengah dari luas total kolom. b) Sambungan antar panel dinding pracetak harus memiliki sedikitnya dua pengikat integritas arah vertikal, dengan kekuatan tarik nominal tidak kurang dari 44 kN per tulangan pengikat.	**R16.2.4.3** Sambungan pada dasar dan pada *joint* horizontal di kolom pracetak dan panel dinding, termasuk dinding geser, dirancang untuk menyalurkan semua gaya dan momen desain. Persyaratan pengikat integritas minimum dari ketentuan ini tidak menambah persyaratan desain ini. Praktek yang umum adalah menempatkan pengikat integritas dinding secara simetris pada garis tengah vertikal dari panel dinding dan di dalam bagian luar lebar panel.
16.2.5 *Persyaratan pengikat integritas untuk struktur dinding beton pracetak bertingkat tiga atau lebih tinggi*	**R16.2.5** *Persyaratan pengikat integritas untuk struktur dinding beton pracetak bertingkat tiga atau lebih tinggi* – Pasal 16.2.4 memberikan persyaratan untuk pengikat integritas yang berlaku untuk semua struktur beton pracetak. Persyaratan khusus pada pasal ini hanya berlaku untuk struktur dinding beton pracetak bertingkat tiga atau lebih tinggi, sering disebut struktur panel besar. Jika persyaratan pasal ini bertentangan dengan 16.2.4, persyaratan pasal ini yang menentukan. Ketentuan minimum untuk pengikat integritas struktural dalam struktur dinding panel besar dimaksudkan untuk memberikan gantungan dalam kasus kehilangan dukungan dinding penumpu (*Portland Cement Association 1980*). Persyaratan tulangan pengikat yang dihitung untuk pengaruh beban spesifik dapat melebihi ketentuan minimum ini. Persyaratan pengikat integritas minimum diilustrasikan pada Gambar R16.2.5, dan didasarkan pada rekomendasi *PCI* untuk perancangan bangunan dinding beton pracetak (*PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings 1976*).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Kekuatan pengikat integritas didasarkan pada kekuatan leleh. *PCI Building Code Committee* (1986) memberikan rekomendasi untuk pengikat integritas minimum untuk bangunan dinding beton penumpu pracetak.
	
	Gambar R16.2.5 – Pengaturan tipikal pengikat integritas dalam struktur panel besar
16.2.5.1 Pengikat integritas pada sistem lantai dan atap harus memenuhi a) hingga f):	
a) Pengikat integritas arah longitudinal dan transversal harus dipasang pada sistem lantai dan atap agar menghasilkan kekuatan tarik nominal sedikitnya 22 kN/m lebar atau panjang. b) Pengikat integritas arah longitudinal dan transversal harus dipasang di atas tumpuan dinding interior dan antara sistem lantai atau atap dan dinding eksterior.	**R16.2.5.1(a)** Pengikat integritas arah longitudinal dapat diteruskan dari pelat dan disambung dengan sambungan lewatan, dilas, disambung secara mekanis, atau ditanam dalam *joint* grout dengan panjang dan selimut yang cukup untuk menghasilkan gaya yang diperlukan. Panjang lekatan untuk tulangan nonprategang dan prategang dengan lekatan harus cukup untuk menghasilkan kekuatan leleh (Salmons and McCrate 1977).
c) Pengikat integritas arah longitudinal dan transversal harus diposisikan dengan jarak tidak lebih besar dari 600 mm dari bidang pada sistem lantai atau atap. d) Pengikat integritas arah longitudinal harus dipasang sejajar terhadap bentang pelat lantai atau atap dan harus dipasang dengan jarak tidak lebih besar dari 3 m jarak sumbu ke sumbu. Ketentuan harus dibuat untuk menyalurkan gaya di sekitar lubang/bukaan.	**R16.2.5.1(c)** Tidak jarang memiliki pengikat integritas yang diposisikan di dinding yang cukup dekat dengan bidang lantai atau sistem atap.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

e) Pengikat integritas arah transversal harus dipasang tegak lurus terhadap bentang pelat lantai atau atap dan harus dipasang dengan jarak tidak lebih besar dari jarak dinding tumpuan.
f) Pengikat integritas di sekeliling tepi setiap lantai dan atap, dalam rentang jarak 1,2 m dari tepi, harus memiliki kekuatan tarik nominal sedikitnya 71 kN.

16.2.5.2 Pengikat integritas arah vertikal harus memenuhi a) hingga c):

a) Pengikat integritas harus dipasang di semua panel dinding dan harus menerus di seluruh ketinggian bangunan.
b) Pengikat integritas harus memiliki kekuatan tarik nominal minimal 44 kN/m horizontal dinding.
c) Sedikitnya dua pengikat integritas harus dipasang di setiap panel dinding.
d)

16.2.6 *Dimensi minimum pada sambungan tumpuan*

16.2.6.1 Dimensi sambungan tumpuan harus memenuhi 16.2.6.2 atau 16.2.6.3 kecuali ditunjukkan oleh analisis atau pengujian bahwa dimensi yang lebih kecil tidak akan mengganggu kinerja.

16.2.6.2 Untuk pelat pracetak, balok, atau komponen stem, dimensi rencana minimum dari muka tumpuan hingga ujung komponen struktur pracetak sesuai dengan arah bentang, dengan mempertimbangkan toleransi yang ditentukan, harus sesuai dengan Tabel 16.2.6.2.

Tabel 16.2.6.2 – Dimensi desain minimum dari muka tumpuan ke ujung komponen pracetak

Jenis bagian	Jarak minimal, mm	
Solid atau pelat berongga	Terbesar dari:	ℓ_n/180
		50
Balok atau *stemmed member*	Terbesar dari:	ℓ_n/180
		75

16.2.6.3 Bantalan tumpuan yang berdekatan dengan tepi yang tidak berpelindung harus diberi jarak dari muka

PENJELASAN

R16.2.5.1(e) Pengikat integritas arah transversal dapat diberi jarak yang seragam dan tertanam dalam panel atau dalam *topping*, atau terkumpul pada dinding penumpu arah transversal.
R16.2.5.1(f) Persyaratan pengikat integritas keliling tidak perlu ditambahkan dengan persyaratan pengikat integritas arah longitudinal dan transversal.

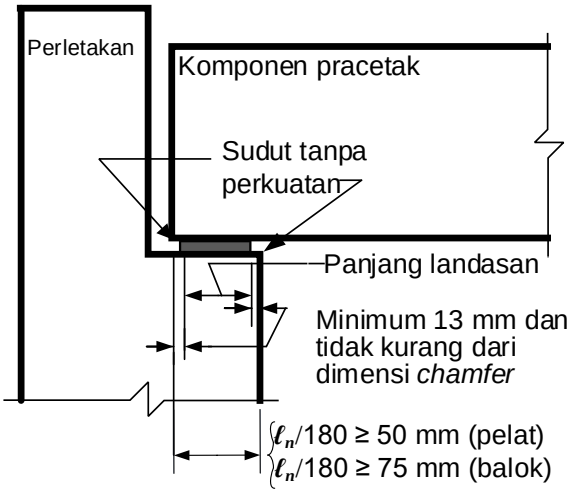
R16.2.6 *Dimensi minimum pada sambungan tumpuan* - Pasal ini membedakan antara panjang bantalan tumpuan dan panjang ujung bagian pracetak atas tumpuan (lihat Gambar R16.2.6).
Bantalan tumpuan (*bearing pad*) mendistribusikan beban terpusat dan reaksi di atas daerah tumpuan, dan membolehkan gerakan horizontal dan rotasi yang terbatas untuk mengurangi tegangan. Untuk mencegah *spalling* di bawah area tumpuan yang dibebani beban berat, bantalan tumpuan tidak menerus hingga tepi tumpuan kecuali tepinya berlapis baja. Tepian dapat dilapisi pelat baja atau profil siku yang diangkur. Pasal 16.5 memberikan persyaratan untuk tumpuan pada braket atau korbel.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

tumpuan dan ujung komponen struktur yang didukung tidak kurang dari 13 mm atau dimensi penumpulan pada tepi yang ditumpulkan (*chamfered*).

PENJELASAN



Gambar R16.2.6 – Panjang landasan pada tumpuan

16.3 - Sambungan ke fondasi

16.3.1 *Umum*

16.3.1.1 Gaya dan momen terfaktor pada dasar kolom, dinding, atau pedestal harus disalurkan ke fondasi pendukung dengan tumpuan pada beton dan dengan tulangan, dowel/pasak, baut angkur, atau sambungan mekanis.

16.3.1.2 Tulangan, dowel/pasak, atau sambungan mekanis antara suatu komponen struktur yang didukung dan fondasi harus dirancang untuk menyalurkan a) dan b):

a) Semua gaya tekan yang melampaui kekuatan tumpu beton yang lebih rendah dari komponen struktur yang didukung atau fondasi, dihitung sesuai 22.8.
b) Setiap gaya tarik yang dihitung melalui bidang kontak.

16.3.1.3 Pada bagian dasar suatu kolom komposit dengan inti baja struktural, a) atau b) harus dipenuhi:

a) Bagian dasar profil baja struktural harus dirancang untuk menyalurkan gaya total terfaktor dari keseluruhan komponen struktur komposit ke fondasi.
b) Bagian dasar profil baja struktural harus dirancang untuk menyalurkan gaya-gaya terfaktor hanya dari inti baja, dan

R16.3 - Sambungan ke fondasi

Persyaratan 16.3.1 hingga 16.3.3 berlaku untuk konstruksi cor di tempat dan pracetak. Persyaratan tambahan untuk konstruksi cor di tempat diberikan dalam 16.3.4 dan 16.3.5, sementara persyaratan tambahan untuk konstruksi pracetak diberikan dalam 16.3.6.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sisa dari gaya total terfaktor harus disalurkan ke fondasi melalui bagian tekan pada beton dan tulangan.	
16.3.2 *Kekuatan perlu*	
16.3.2.1 Gaya dan momen terfaktor yang disalurkan ke fondasi harus dihitung sesuai dengan kombinasi pembebanan terfaktor dalam Pasal 5 dan prosedur analisis pada Pasal 6.	
16.3.3 *Kekuatan desain*	**R16.3.3** *Kekuatan desain*
16.3.3.1 Kekuatan desain sambungan antara kolom, dinding, atau pedestal dengan fondasi harus memenuhi Pers. (16.3.3.1) untuk setiap kombinasi pembebanan yang dipakai. Untuk sambungan antara komponen struktur pracetak dengan fondasi, persyaratan untuk pengikat integritas arah vertikal di 16.2.4.3 atau 16.2.5.2 harus dipenuhi. $\phi S_n \geq U$ (16.3.3.1) dimana S_n adalah kekuatan nominal lentur, geser, aksial, torsi, atau tumpu sambungan.	
16.3.3.2 ϕ harus ditentukan sesuai 21.2.	
16.3.3.3 Kombinasi momen dan kekuatan aksial sambungan harus dihitung sesuai 22.4.	
16.3.3.4 Pada permukaan kontak antara suatu komponen yang didukung dan fondasi, atau antara suatu komponen yang didukung atau fondasi dengan suatu elemen tumpuan perantara, kekuatan tumpu nominal B_n harus dihitung sesuai 22.8 untuk permukaan beton. B_n harus nilai yang lebih kecil dari kekuatan nominal tumpuan beton untuk komponen yang didukung atau permukaan fondasi, dan tidak boleh melebihi kekuatan elemen tumpuan perantara, bila ada.	**R16.3.3.4** Dalam kasus umum dari kolom yang bertumpu pada fondasi, dimana area fondasi lebih besar dari area kolom, kekuatan tumpu harus diperiksa di dasar kolom dan bagian atas fondasi setempat. Dengan tidak adanya dowel-dowel atau penulangan kolom yang menerus ke fondasi, kekuatan bagian bawah kolom harus diperiksa menggunakan kekuatan betonnya saja.
16.3.3.5 Pada bidang kontak antara komponen struktur yang didukung dengan fondasi, V_n harus dihitung sesuai dengan ketentuan geser friksi pada 22.9 atau dengan cara lain yang sesuai.	**R16.3.3.5** Geser-friksi dapat digunakan untuk memeriksa penyaluran gaya lateral ke pedestal atau fondasi. Sebagai alternatif untuk menggunakan geser-friksi pada bidang geser, pengunci geser (*shear key*)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dapat digunakan, dengan ketentuan bahwa penulangan yang melalui titik sambungan memenuhi 16.3.4.1 untuk konstruksi cor di tempat atau 16.3.6.1 untuk konstruksi pracetak. Dalam konstruksi pracetak, ketahanan terhadap kekuatan lateral dapat diberikan oleh sambungan mekanis atau sambungan las.
16.3.3.6 Pada dasar suatu kolom pracetak, pedestal, atau dinding, baut angkur dan angkur untuk sambungan mekanis harus dirancang sesuai dengan Pasal 17. Gaya-gaya yang terjadi saat ereksi harus dipertimbangkan.	**R16.3.3.6** Pasal 17 mencakup desain angkur, termasuk persyaratan desain seismik. Dalam konstruksi beton pracetak, pertimbangan ereksi bisa jadi mengontrol desain dasar sambungan dan perlu untuk dipertimbangkan.
16.3.3.7 Pada dasar suatu kolom pracetak, pedestal, atau dinding, sambungan mekanis harus dirancang untuk mencapai kekuatan desain sebelum terjadi keruntuhan pengangkuran atau keruntuhan beton di sekitarnya.	
16.3.4 *Tulangan minimum untuk sambungan antara komponen struktur yang dicor di tempat dengan fondasi*	**R16.3.4** *Tulangan minimum untuk sambungan antara komponen struktur yang dicor di tempat dengan fondasi* - Peraturan ini mensyaratkan jumlah penulangan minimum antara semua komponen yang didukung dan pendukung untuk memastikan perilaku daktail. Penulangan ini diperlukan untuk memberikan suatu tingkat integritas struktural selama tahap konstruksi dan selama masa layan struktur.
16.3.4.1 Untuk sambungan antara suatu kolom atau pedestal yang dicor di tempat dengan fondasi, A_s bidang kontak harus sedikitnya $0{,}005A_g$, dimana A_g adalah luas total komponen struktur yang didukung. **16.3.4.2** Untuk sambungan antara suatu dinding yang dicor di tempat dengan fondasi, luas penulangan vertikal bidang kontak harus memenuhi 11.6.1.	**R16.3.4.1** Luas tulangan minimum pada dasar kolom dapat diberikan dengan meneruskan tulangan longitudinal dan diangkur ke fondasi setempat atau dengan memberikan dowel/pasak yang diangkur secara benar.
16.3.5 *Detail untuk sambungan antara komponen struktur yang dicor di tempat dengan fondasi*	**R16.3.5** *Detail untuk sambungan antara komponen struktur yang dicor di tempat dengan fondasi*
16.3.5.1 Pada dasar suatu kolom, pedestal, atau dinding yang dicor di tempat, penulangan yang diperlukan untuk memenuhi 16.3.3 dan 16.3.4 harus dipasang dengan meneruskan tulangan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
longitudinal sampai ke dalam fondasi pendukung atau dengan dowel/pasak.	
16.3.5.2 Apabila momen disalurkan ke fondasi, maka tulangan, dowel/pasak, atau sambungan mekanis harus memenuhi 10.7.5 untuk sambungan (*splice*).	**R16.3.5.2** Jika momen yang terhitung disalurkan dari kolom ke fondasi setempat, beton di zona tekan kolom diizinkan mencapai $0,85\phi f_c'$ akibat kondisi beban terfaktor dan, sebagai hasilnya, semua penulangan secara umum harus diangkur ke dalam fondasi setempat.
16.3.5.3 Apabila sambungan sendi digunakan pada dasar suatu kolom atau pedestal yang dicor di tempat, sambungan ke fondasi tersebut harus memenuhi 16.3.3.	
16.3.5.4 Pada fondasi telapak, diizinkan untuk melakukan sambungan lewatan pada tulangan longitudinal D43 dan D57, dalam kondisi tekan saja, dengan dowel/pasak untuk memenuhi 16.3.3.1. Dowel/pasak harus memenuhi a) hingga c): a) Dowel/pasak tidak boleh lebih besar dari D36 b) Dowel/pasak harus diteruskan ke dalam komponen yang didukung sedikitnya lebih besar dari panjang penyaluran dari tulangan longitudinal dalam kondisi tekan, ℓ_{dc}, dan panjang sambungan lewatan dalam kondisi tekan dari dowel/pasak, ℓ_{sc}. c) Dowel/pasak harus diteruskan ke dalam fondasi telapak sedikitnya ℓ_{dc} dari dowel/pasak.	**R16.3.5.4** Sambungan lewatan tekan dari tulangan diameter besar dan dowel/pasak diizinkan sesuai dengan 25.5.5.3. Untuk memenuhi 16.3.3.1 mungkin mengharuskan setiap tulangan D43 atau D57 disambung lebih dari satu batang dowel/pasak.
16.3.6 *Detail untuk sambungan antara komponen pracetak dengan fondasi*	
16.3.6.1 Pada dasar dari suatu kolom, pedestal, atau dinding pracetak, sambungan ke fondasi harus memenuhi 16.2.4.3 atau 16.2.5.2.	
16.3.6.2 Jika kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan 16.3.3 tidak menghasilkan gaya tarik pada dasar dinding pracetak, maka pengikat integritas arah vertikal yang diperlukan berdasarkan 16.2.4.3(b) diizinkan untuk disalurkan ke dalam pelat di atas tanah (*slab-on-ground*) beton bertulang yang cukup.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
16.4 - Transfer geser horizontal pada komponen struktur lentur beton komposit	**R16.4 - Transfer geser horizontal pada komponen struktur lentur beton komposit**
16.4.1 *Umum*	**16.4.1** *Umum*
16.4.1.1 Pada komponen struktur lentur beton komposit, seluruh penyaluran gaya geser horizontal harus diberikan pada bidang kontak elemen yang dihubungkan.	**R16.4.1.1** Penyaluran penuh gaya geser horizontal antar segmen komponen komposit dapat diberikan oleh kekuatan geser horizontal pada permukaan kontak melalui geser antarmuka, angkur pengikat yang diangkur dengan benar, atau keduanya.
16.4.1.2 Bila terjadi suatu kondisi tertarik pada bidang kontak antara elemen beton yang dihubungkan, penyaluran geser horizontal secara kontak hanya diizinkan bila tulangan transversal dipasang sesuai dengan 16.4.6 dan 16.4.7.	
16.4.1.3 Persiapan pada permukaan yang diasumsikan untuk perancangan harus ditentukan dalam dokumen perencanaan.	**R16.4.1.3** Pasal 26.5.6 membutuhkan perencana ahli bersertifikat untuk menentukan persiapan permukaan dalam dokumen perencanaan.
16.4.2 *Kekuatan perlu*	
16.4.2.1 Gaya terfaktor yang tersalur ke seluruh bidang kontak pada komponen lentur beton komposit harus dihitung sesuai dengan kombinasi pembebanan terfaktor pada Pasal 5.	
16.4.2.2 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai prosedur analisis pada Pasal 6.	
16.4.3 *Kekuatan desain*	
16.4.3.1 Kekuatan desain untuk penyaluran geser horizontal harus memenuhi Pers. (16.4.3.1) di seluruh lokasi bidang kontak pada suatu komponen lentur beton komposit, kecuali apabila 16.4.5 terpenuhi: $\phi V_{nh} \geq V_u$ (16.4.3.1) dimana kekuatan geser horizontal nominal V_{nh} dihitung sesuai dengan 16.4.4.	
16.4.3.2 ϕ harus ditentukan sesuai dengan 21.2.	
16.4.4 *Kekuatan geser horizontal nominal*	**R16.4.4** *Kekuatan geser horizontal nominal*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
16.4.4.1 Apabila $V_u > \phi(3{,}5 b_v d)$, V_{nh} boleh diambil sebagai V_n yang dihitung sesuai dengan 22.9, dimana b_v adalah lebar bidang kontak dan d sesuai dengan 16.4.4.3.	
16.4.4.2 Apabila $V_u \leq \phi(3{,}5 b_v d)$, V_{nh} harus dihitung sesuai dengan Tabel 16.4.4.2, dimana $A_{v,min}$ sesuai dengan 16.4.6, b_v adalah lebar bidang kontak, dan d sesuai dengan 16.4.4.3.	**R16.4.4.2** Kekuatan geser horizontal yang diizinkan dan persyaratan amplitudo 6 mm untuk kekasaran rencana didasarkan pada tes yang dibahas dalam Kaar et al. (1960), Saemann and Washa (1964), dan Hanson (1960).

Tabel 16.4.4.2 – Kekuatan geser horizontal nominal

Tulangan transfer geser	Persiapan permukaan kontak[1]	V_{nh}, N		
$A_v \geq A_{v,min}$	Beton diletakkan terhadap beton yang sudah mengeras dengan sengaja dikasarkan hingga amplitudo penuh yaitu sekitar 6 mm	Terkecil dari:	$\lambda\left(1{,}8 + 0{,}6\frac{A_v f_{yt}}{b_v s}\right) b_v d$	(a)
			$3{,}5 b_v d$	(b)
	Beton diletakkan terhadap beton yang sudah mengeras tapi tidak dengan sengaja dikasarkan	$0{,}55 b_v d$		(c)
Kasus lain	Beton diletakkan terhadap beton yang sudah mengeras dengan sengaja dikasarkan	$0{,}55 b_v d$		(d)

[1]Permukaan kontak beton harus bersih dan bebas *laitance*

16.4.4.3 Pada Tabel 16.4.4.2, d adalah jarak dari serat tekan ekstrem pada seluruh penampang komposit ke titik berat tulangan tarik prategang dan non-prategang, bila ada, namun tidak perlu diambil kurang dari $0{,}80h$ untuk komponen struktur beton prategang.	**R16.4.4.3** Dalam komponen beton prategang komposit, kedalaman tulangan tarik dapat bervariasi di sepanjang komponen struktur. Definisi d yang digunakan dalam Pasal 22 untuk menentukan kekuatan geser vertikal juga tepat untuk menentukan kekuatan geser horizontal.
16.4.4.4 Tulangan transversal pada beton yang sudah tercetak sebelumnya yang menerus ke dalam beton yang dicor di tempat dan terangkur pada kedua sisi bidang kontak diizinkan untuk dimasukkan sebagai sengkang ikat pada perhitungan V_{nh}.	
16.4.5 *Metode alternatif untuk menghitung kekuatan desain geser horizontal*	**R16.4.5** *Metode alternatif untuk menghitung kekuatan desain geser horizontal*
16.4.5.1 Sebagai suatu alternatif untuk pasal 16.4.3.1, gaya geser horizontal terfaktor V_{uh} harus dihitung dari perubahan gaya lentur tekan atau tarik pada segmen dari komponen struktur beton komposit manapun, dan Pers. (16.4.5.1) harus	

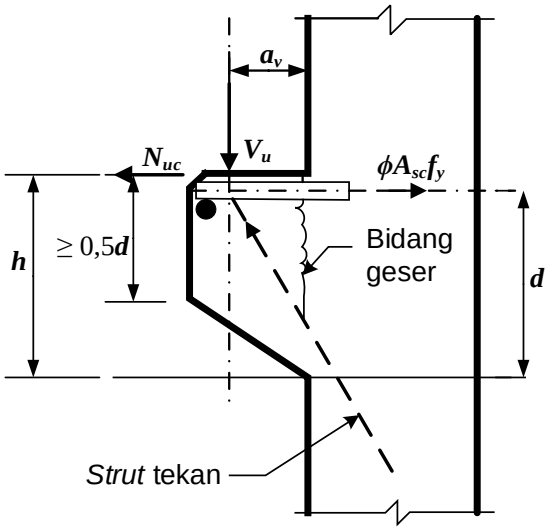
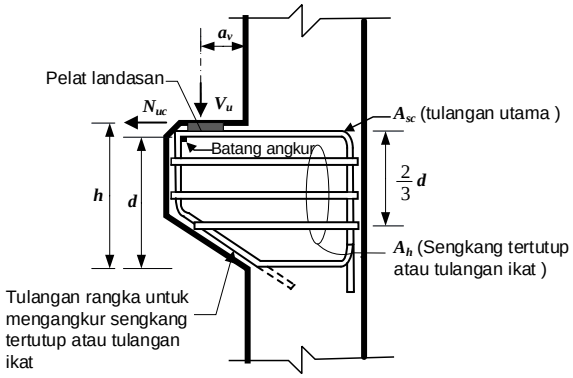
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
terpenuhi di seluruh lokasi sepanjang bidang kontak: $\phi V_{nh} \geq V_{uh}$ (16.4.5.1) Kekuatan geser horizontal nominal V_{nh} harus dihitung sesuai 16.4.4.1 atau 16.4.4.2, dimana luas bidang kontak harus disubstitusi untuk $b_v d$ dan V_{uh} disubstitusi dengan V_u. Ketentuan harus dibuat untuk menyalurkan perubahan gaya tekan atau tarik sebagai gaya geser horizontal bidang kontak.	
16.4.5.2 Apabila penyaluran tulangan geser dirancang untuk menahan geser horizontal untuk memenuhi Pers. (16.4.5.1), rasio antara luas dan jarak sengkang pengikat sepanjang komponen struktur harus kira-kira menggambarkan distribusi gaya geser antarmuka pada komponen lentur beton komposit.	**R16.4.5.2** Distribusi tegangan geser horizontal sepanjang permukaan kontak dalam komponen komposit akan mencerminkan distribusi geser sepanjang komponen. Kegagalan geser horizontal akan berawal dimana tegangan geser horizontal maksimum dan akan menyebar ke daerah-daerah dengan tegangan lebih rendah. Karena slip pada ketahanan geser horizontal puncak cukup kecil untuk permukaan kontak beton-ke-beton, redistribusi longitudinal dari tahanan geser horizontal sangat terbatas. Oleh karena itu, jarak pengikat di sepanjang permukaan kontak harus memberikan tahanan geser horizontal yang didistribusikan kurang lebih sama dengan distribusi tegangan geser sepanjang permukaan kontak.
16.4.5.3 Tulangan transversal pada bagian yang sudah tercetak sebelumnya yang menerus ke dalam bagian yang dicor di tempat dan terangkur pada kedua sisi bidang kontak diizinkan untuk dimasukkan sebagai sengkang pengikat pada perhitungan V_{nh}.	
16.4.6 *Tulangan minimum untuk penyaluran geser horizontal*	**R16.4.6** *Tulangan minimum untuk penyaluran geser horizontal*
16.4.6.1 Apabila penyaluran tulangan geser dirancang untuk menahan geser horizontal, $A_{v,min}$ harus lebih besar dari a) dan b): a) $0{,}062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_y}$	**R16.4.6.1** Persyaratan untuk area minimum penulangan penyalur geser didasarkan pada data uji yang diberikan dalam Kaar et al. (1960), Saemann dan Washa (1964), Hanson (1960), Grossfield dan Birnstiel (1962), dan Mast (1968).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) $0,35\frac{b_w s}{f_y}$	
16.4.7 *Pendetailan penulangan untuk penyaluran geser horizontal*	**R16.4.7** *Pendetailan penulangan untuk penyaluran geser horizontal*
16.4.7.1 Tulangan penyaluran geser dapat berupa batang atau kawat tunggal, sengkang berkaki banyak, atau kaki vertikal dari jaring kawat.	
16.4.7.2 Apabila penyaluran tulangan geser dirancang untuk menahan geser horizontal, jarak tulangan penyaluran geser longitudinal tidak melebihi dari yang terkecil antara 600 mm dan empat kali dimensi terkecil dari elemen yang didukung.	
16.4.7.3 Tulangan penyaluran geser harus disalurkan pada elemen yang dihubungkan sesuai dengan 25.7.1.	**R16.4.7.3** Pengangkuran yang tepat dari pengikat yang melewati antarmuka diperlukan untuk mempertahankan kontak di sepanjang antarmuka.
16.5 - *Bracket* dan korbel **16.5.1** *Umum*	**R16.5 - *Bracket* dan korbel** **R16.5.1** *Umum* - *Bracket* dan korbel adalah kantilever pendek yang cenderung bertindak sebagai rangka batang sederhana atau balok tinggi daripada balok biasa yang dirancang untuk geser sesuai dengan 22.5. Korbel yang ditunjukkan pada Gambar R16.5.1a dan 16.5.1b dapat gagal karena geser sepanjang pertemuan antara kolom dan korbel, pelelehan pada pengikat tarik, hancur atau pecah pada *strut* tekan, atau kegagalan lokal tumpu atau geser di bawah pelat landasan. Mode kegagalan ini diilustrasikan dan didiskusikan dalam Elzanaty et al. (1986). Metode desain yang dibahas dalam bagian ini hanya divalidasi secara eksperimental untuk $a_v/d \leq 1,0$. Selain itu, sebuah batas atas disediakan untuk N_{uc} karena metode desain ini hanya divalidasi secara eksperimental untuk $N_{uc} \leq V_u$.
16.5.1.1 Braket dan korbel dengan rasio bentang terhadap tinggi $a_v/d \leq 1,0$ dan dengan gaya tarik horizontal terfaktor $N_{uc} \leq V_u$ diizinkan untuk dirancang sesuai 16.5.	**R16.5.1.1** Desain braket dan korbel sesuai dengan pasal 23 diizinkan, terlepas dari bentang geser.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R16.5.1a – Aksi struktural korbel**
	 **Gambar R16.5.1b – Notasi yang digunakan dalam 18.3**
16.5.2 *Batasan dimensi*	**R16.5.2** *Batasan dimensi*
16.5.2.1 Tinggi efektif d untuk suatu braket atau korbel harus dihitung pada bagian muka tumpuan.	
16.5.2.2 Tinggi total braket atau korbel pada tepi luar daerah tumpuan harus sedikitnya $0{,}5d$.	**R16.5.2.2** Ketinggian minimum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R16.5.1a dan R16.5.1b, diperlukan di tepi luar area tumpuan sehingga kegagalan prematur tidak akan terjadi karena rambatan retak utama dari bawah daerah tumpuan ke sisi miring terluar dari korbel atau braket. Kegagalan jenis ini telah diamati (Kriz dan Raths 1965) pada korbel yang memiliki ketinggian di tepi luar area tumpuan kurang dari yang dibutuhkan dalam 16.5.2.2.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
16.5.2.3 Tiada bagian dari daerah tumpuan pada braket atau korbel yang boleh melebihi jarak dari muka kolom ke proyeksi a) atau b): a) Ujung dari bagian lurus tulangan tarik utama b) Sisi dalam dari batang angkur transversal, bila ada	**R16.5.2.3** Pembatasan pada lokasi daerah tumpuan diperlukan untuk memastikan pembentukan kuat leleh dari tulangan tarik utama dekat beban. Jika korbel dirancang untuk menahan gaya tarik N_{uc}, pelat tumpuan harus disediakan dan dilas ke tulangan utama (Gambar R16.5.1b).
16.5.2.4 Untuk beton normal, dimensi braket (*bracket*) atau korbel harus ditentukan agar V_u/ϕ tidak melebihi sedikitnya a) hingga c): a) $0,2 f_c' b_w d$ b) $(3,3 + 0,08 f_c') b_w d$ c) $11 b_w d$	**R16.5.2.4** Batasan-batasan ini menjadikan adanya batasan dimensi pada braket dan korbel yang diperlukan untuk memenuhi kekuatan geser friksi maksimum yang diizinkan pada penampang kritis di muka tumpuan.
16.5.2.5 Untuk beton ringan dengan semua agregat ringan (*all-lightweight concrete*) atau beton ringan dengan pasir ringan (*sand-lightweight concrete*), dimensi braket atau korbel harus ditentukan sehingga V_u/ϕ tidak melebihi yang sedikitnya a) dan b): a) $\left(0,2 - 0,07\frac{a_v}{d}\right) f_c' b_w d$ b) $\left(5,5 - 1,9\frac{a_v}{d}\right) b_w d$	**R16.5.2.5** Pengujian (Mattock et al. 1976a) telah menunjukkan bahwa kekuatan geser friksi maksimum dari braket dan korbel beton ringan merupakan fungsi dari f_c' dan a_v/d. Tidak ada data tersedia untuk korbel atau braket yang terbuat dari beton ringan dengan pasir ringan. Akibatnya, batasan yang sama ditempatkan pada braket dan korbel beton ringan dengan semua agregat ringan dan beton ringan dengan pasir ringan.
16.5.3 *Kekuatan perlu*	**R16.5.3** *Kekuatan perlu*
16.5.3.1 Penampang pada bagian muka tumpuan harus dirancang untuk menahan gaya geser terfaktor V_u, gaya tarik horizontal terfaktor N_{uc}, dan momen terfaktor M_u secara bersamaan yang didapat dari $\left[V_u a_v + N_{uc}(h - d)\right]$.	
16.5.3.2 Gaya tarik terfaktor, N_{uc}, dan geser, V_u, harus dari nilai maksimum yang dihitung sesuai dengan kombinasi pembebanan terfaktor pada Pasal 5.	
16.5.3.3 Kekuatan perlu harus dihitung sesuai dengan prosedur analisis pada pasal 6, dan persyaratan-persyaratan di bagian ini.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

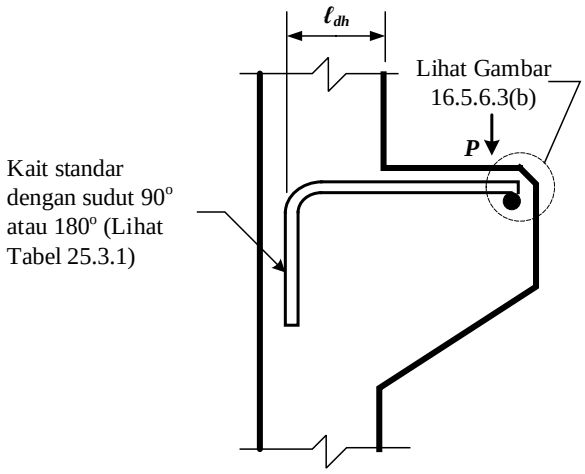
STANDAR	PENJELASAN
16.5.3.4 Gaya tarik horizontal yang bekerja pada sebuah braket atau korbel harus diperlakukan sebagai beban hidup saat menghitung N_{uc}, meskipun gaya tarik yang terjadi hasil dari kekangan rangkak, susut, atau perubahan suhu.	**R16.5.3.4** Karena besaran gaya horizontal yang bekerja pada korbel atau braket biasanya tidak dapat ditentukan dengan akurat, maka N_{uc} perlu diamplifikasi oleh faktor beban yang berlaku untuk beban hidup.
16.5.3.5 Kecuali gaya tarik ditahan agar tidak bekerja pada braket (*bracket*) atau korbel, N_{uc} harus sedikitnya $0{,}2V_u$.	
16.5.4 *Kekuatan desain*	
16.5.4.1 Kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$, termasuk a) hingga c). Interaksi antara pengaruh pembebanan harus dipertimbangkan. a) $\phi N_n \geq N_{uc}$ b) $\phi V_n \geq V_u$ c) $\phi M_n \geq M_u$	
16.5.4.2 ϕ harus ditentukan sesuai dengan 21.2.	
16.5.4.3 Kekuatan tarik nominal N_n dari A_n harus dihitung dengan $N_n = A_n f_y$ (16.5.4.3)	
16.5.4.4 Kekuatan geser nominal V_n dari A_{vf} harus dihitung sesuai dengan ketentuan geser friksi pada 22.9, dimana A_{vf} adalah luas tulangan yang terpotong bidang geser yang diasumsikan.	
16.5.4.5 Kekuatan lentur nominal M_n dari A_f dihitung sesuai dengan asumsi desain pada 22.2.	
16.5.5 *Batasan penulangan*	**R16.5.5** *Batasan penulangan*
16.5.5.1 Area tulangan tarik utama, A_{sc}, harus sedikitnya yang terbesar dari a) hingga c): a) $A_f + A_n$ b) $(2/3)A_{vf} + A_n$	**R16.5.5.1** Hasil pengujian (Mattock et al. 1976a) menunjukkan bahwa jumlah total tulangan utama, A_{sc}, yang diperlukan melintasi muka tumpuan harus yang terbesar dari: a) Total dari jumlah tulangan yang diperlukan untuk menahan kebutuhan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
c) $0{,}04\left(f_c'/f_y\right)\left(b_w d\right)$	lentur, A_f, ditambah jumlah tulangan yang diperlukan untuk menahan gaya aksial, A_n, sebagaimana ditentukan oleh 16.5.4.3. b) Total dua pertiga dari total tulangan geser friksi yang diperlukan, A_{vf}, sebagaimana ditentukan oleh 16.5.4.4, ditambah jumlah tulangan yang dibutuhkan untuk menahan gaya aksial, A_n, yang ditentukan oleh 16.5.4.3. Sisa $A_{vf}/3$ harus disediakan sebagai sengkang tertutup sejajar dengan A_{sc} sebagaimana disyaratkan oleh 16.5.5.2. c) Jumlah minimum tulangan, dikalikan dengan rasio kekuatan beton terhadap kekuatan baja. Jumlah ini diperlukan untuk mencegah kemungkinan kegagalan mendadak jika braket atau korbel retak karena aksi lentur dan gaya tarik ke luar.
16.5.5.2 Luas total dari sengkang tertutup atau sengkang pengikat yang sejajar dengan tulangan tarik utama, A_h, sedikitnya harus: $A_h = 0{,}5\left(A_{sc} - A_n\right)$ (16.5.5.2)	**R16.5.5.2** Sengkang tertutup yang sejajar dengan tulangan utama diperlukan untuk mencegah kegagalan prematur tegangan tarik diagonal dari korbel atau braket. Distribusi A_h harus sesuai dengan 16.5.6.6. Jumlah total tulangan yang diperlukan untuk melintasi muka tumpuan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R16.5.1b, adalah jumlah dari A_{sc} dan A_h.
16.5.6 *Pendetailan tulangan*	**R16.5.6** *Pendetailan tulangan*
16.5.6.1 Selimut beton harus sesuai dengan 20.6.1.3.	
16.5.6.2 Spasi minimum untuk tulangan ulir harus sesuai dengan 25.2.	
16.5.6.3 Pada bagian depan muka suatu braket atau korbel, tulangan tarik utama harus diangkur dengan a), b), atau c): a) Las ke suatu tulangan transversal sedikitnya sama dengan ukuran yang dirancang untuk mengembangkan f_y dari tulangan tarik utama b) Pembengkokan tulangan tarik utama ke belakang membentuk putaran horizontal (*horizontal loop*) c) Cara pengangkuran lain yang dapat mengembangkan f_y	**R16.5.6.3** Untuk braket dan korbel dengan ketinggian yang bervariasi (lihat Gambar R16.5.1a), tegangan ketika ultimit pada tulangan adalah hampir konstan pada kira-kira f_y dari muka tumpuan ke titik beban. Ini karena komponen horizontal dari *strut* tekan beton yang miring disalurkan ke tulangan utama di lokasi beban vertikal. Oleh karena itu, tulangan harus sepenuhnya terangkur pada ujung luarnya (lihat 16.5.6.3) dan di dalam kolom pendukung (lihat 16.5.6.4), sehingga mampu membentuk kekuatan leleh yang ditentukan dari muka tumpuan ke beban vertikal (lihat Gambar R16.5.6.3a). Pengangkuran yang memenuhi syarat pada

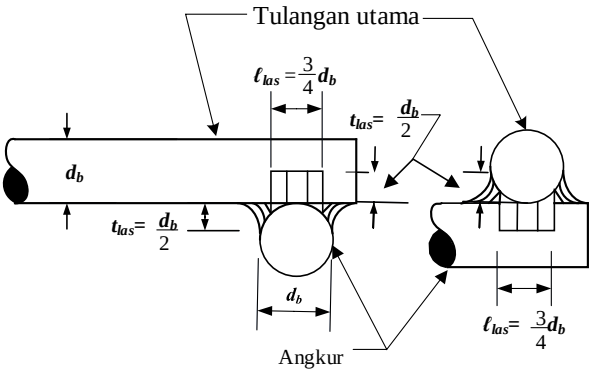
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	ujung luar dapat diperoleh dengan membengkokkan tulangan utama dalam lingkaran horizontal seperti yang ditentukan dalam 16.5.6.3b, atau dengan mengelas batang tulangan berdiameter yang sama atau profil siku yang berukuran sesuai di ujung tulangan utama. Detail las yang digunakan di dalam uji korbel yang berhasil dilaporkan dalam Mattock et al. (1976a) ditunjukkan pada Gambar R16.5.6.3b. Lihat *ACI Committee 408* (1966). Ujung kait pada bidang vertikal, dengan bengkokan diameter minimum, tidak sepenuhnya efektif karena akan ada daerah beton yang tidak tertulangi di bawah titik pembebanan untuk beban yang diterapkan dekat dengan ujung braket atau korbel. Untuk braket lebar (tegak lurus terhadap bidang gambar) dan beban tidak diterapkan dekat dengan ujung, batang tulangan berbentuk U dalam bidang horizontal memberikan kait ujung yang efektif.



Gambar R16.5.6.3a - Komponen struktur yang sangat tergantung pada pengangkuran di tumpuan dan di ujung

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R16.5.6.3b – Detail las yang digunakan dalam pengujian oleh Mattock et al. (1976a)**
16.5.6.4 Tulangan tarik utama harus disalurkan pada bagian muka tumpuan.	
16.5.6.5 Penyaluran tulangan tarik harus memperhitungkan distribusi tegangan pada tulangan yang tidak secara langsung sebanding dengan momen lentur.	**R16.5.6.5** Tegangan yang dihitung di tulangan pada beban layan, f_s, tidak menurun secara linear sebanding dengan penurunan momen dalam braket, korbel, dan komponen struktur dengan ketinggian yang bervariasi. Pertimbangan tambahan diperlukan untuk penyaluran tulangan lentur yang layak.
16.5.6.6 Sengkang tertutup atau sengkang pengikat harus diberi jarak tertentu sehingga A_h terdistribusi secara merata dalam $(2/3)d$ diukur dari tulangan tarik utama.	**R16.5.6.6** Mengacu pada R16.5.5.2.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 17 – PENGANGKURAN KE BETON

17.1 - Ruang lingkup

17.1.1 Pasal ini memberikan persyaratan-persyaratan desain angkur dalam beton yang digunakan untuk menyalurkan beban-beban struktural dalam tarik, geser, atau kombinasi tarik dan geser antara: (a) elemen-elemen struktur yang terhubung; atau (b) komponen-komponen non-struktural terkait keamanan dan elemen-elemen struktur. Tingkat keamanan yang disyaratkan lebih diutamakan untuk kondisi layan dibandingkan untuk kondisi penanganan jangka pendek dan kondisi konstruksi.

R17.1 – Ruang lingkup

R17.1.1 Lingkup pasal ini dibatasi hanya mencakup angkur struktural yang menyalurkan beban-beban struktural yang berkaitan dengan kekuatan, stabilitas, atau keselamatan hidup. Terdapat dua jenis penerapan yang dapat digambarkan. Pertama adalah sambungan antara elemen-elemen struktural dimana kegagalan sebuah angkur atau kelompok angkur dapat mengakibatkan hilangnya keseimbangan atau stabilitas sebarang bagian struktur. Kedua adalah komponen-komponen non-struktural terkait keamanan dan elemen-elemen struktur yang bukan bagian dari struktur (seperti sistem sprinkler, pipa berat yang menggantung, atau rel penghalang) yang melekat pada elemen struktur. Tingkat keamanan yang ditentukan oleh kombinasi faktor beban dan faktor–ϕ sesuai untuk aplikasi struktural. Standar lain mungkin memerlukan tingkat keamanan yang lebih ketat selama penanganan sementara.

17.1.2 Pasal ini berlaku untuk angkur tanam cor ditempat (*cast-in*) dan untuk angkur pascacor (*post-installed*) ekspansi (terkontrol torsi dan terkontrol perpindahan), angkur ujung diperlebar (*undercut*), dan angkur adhesif (*adhesive*). Angkur adhesif harus dipasang dalam beton yang mempunyai umur minimum 21 hari pada saat pemasangan angkur. Sisipan khusus (*specialty inserts*), baut tembus (*through-bolts*), angkur majemuk yang dihubungkan ke pelat baja tunggal pada ujung angkur yang tertanam, angkur yang di-*grouting*, dan angkur langsung (*direct anchors*) seperti paku atau baut *powder-actuated* atau *pneumatic-actuated* tidak masuk dalam ketentuan-ketentuan dalam pasal ini. Tulangan yang digunakan sebagai bagian penanaman harus didesain dengan pasal lain pada standar ini.

R17.1.2 Ketentuan-ketentuan desain untuk angkur adhesif telah ditambahkan dalam *ACI Code 2011*. Angkur adhesif sangat sensitif terhadap sejumlah faktor termasuk arah pemasangan dan jenis pembebanan. Ketika angkur adhesif digunakan untuk menahan beban tarik tetap, ketentuan-ketentuan meliputi persyaratan pengujian untuk pemasangan angkur arah horizontal dan miring ke atas dalam 17.2.4 dan persyaratan desain dan sertifikasi untuk kasus beban tarik tetap dalam 17.2.5 dan 17.8.2.2 hingga 17.8.2.4. Angkur adhesif yang memenuhi syarat sesuai ACI 355.4 diuji dalam dalam dua rentang kekuatan tekan beton: 17 hingga 28 MPa dan 45 hingga 59 MPa. Kekuatan lekatan pada umumnya tidak terlalu terpengaruh oleh kekuatan tekan beton. Kinerja desain angkur adhesif tidak dapat dipastikan dengan menetapkan kekuatan tekan beton minimum pada saat pemasangan pada umur awal beton. Oleh karena itu, minimum umur beton 21 hari

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	diperlukan pada pemasangan angkur adhesif. Banyaknya variasi bentuk dan konfigurasi sisipan khusus membuat rekomendasi yang umum digunakan untuk pengujian dan desain tidak dapat digunakan. Sisipan khusus tidak dicakup oleh ketentuan Pasal 17.
17.1.3 Ketentuan-ketentuan desain mencakup jenis-jenis angkur berikut: a) *Stud* berkepala dan baut berkepala yang mempunyai geometri yang telah menunjukkan hasil kekuatan cabut (*pullout strength*) pada beton tak retak sama dengan atau melebihi $\mathbf{1,4}N_p$, dimana N_p diberikan dalam Pers. (17.4.3.4); b) Baut berkait yang mempunyai geometri yang telah yang telah menunjukkan hasil kekuatan cabut tanpa memanfaatkan friksi pada beton tak retak sama dengan atau melebihi $\mathbf{1,4}N_p$, dimana N_p diberikan dalam Pers. (17.4.3.5); c) Angkur pascacor ekspansi dan angkur ujung diperlebar yang memenuhi kriteria asesmen ACI 355.2; dan d) Angkur adhesif yang memenuhi kriteria asesmen ACI 355.4.	**R17.1.3** Tipikal *stud* berkepala dan baut berkepala yang dicor ditempat dengan geometri sesuai dengan ASME B1.1, B18.2.1, dan B18.2.6 telah diuji dan terbukti dapat diprediksi perilakunya, sehingga kekuatan cabut (*pullout strength*) yang dihitung dapat diterima. Angkur tanam pascacor tidak memiliki kekuatan cabut yang dapat diprediksi, oleh karena itu diperlukan uji kualifikasi untuk menetapkan kekuatan cabut (*pullout strength*) sesuai ACI 355.2. Untuk angkur pascacor supaya dapat digunakan sesuai dengan persyaratan pasal ini, hasil uji ACI 355.2 harus menunjukkan bahwa kegagalan cabut menunjukkan karakteristik hubungan beban-perpindahan yang dapat diterima atau kegagalan cabut dapat dicegah oleh mode kegagalan lainnya. Untuk angkur adhesif, karakteristik tegangan lekatan dan kesesuaian untuk penggunaan struktural ditetapkan dengan pengujian sesuai dengan ACI 355.4.
17.1.4 Penerapan beban yang didominasi oleh *fatigue* siklus tinggi atau beban impak tidak dicakup dalam pasal ini.	**R17.1.4** Pengecualian dari ruang lingkup pembebanan yang menghasilkan *fatigue* siklus tinggi atau impak yang berdurasi sangat pendek (seperti ledakan atau gelombang kejut) tidak dimaksudkan untuk mengecualikan pengaruh beban seismik. Pasal 17.2.3 menyajikan persyaratan tambahan untuk desain ketika beban seismik disertakan.
17.2 - Umum **17.2.1** Angkur dan kelompok angkur harus didesain terhadap pengaruh kritis beban-beban terfaktor seperti yang ditentukan dengan analisis elastis. Pendekatan analisis plastis diizinkan bila kekuatan nominal dikendalikan oleh daktilitas elemen baja, asalkan bahwa kompatibilitas deformasi diperhitungkan.	**R17.2 - Umum** **R17.2.1** Ketika kekuatan kelompok angkur ditentukan oleh kerusakan beton, perilaku ini getas dan terdapat redistribusi terbatas gaya-gaya antara angkur yang tegangannya tinggi dan angkur yang tegangannya lebih rendah. Dalam hal ini, teori elastisitas perlu digunakan, dengan asumsi perangkat penyambung yang mendistribusikan beban ke angkur cukup kaku. Gaya-gaya angkur dapat dianggap

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

17.2.1.1 Pengaruh kelompok angkur harus ditinjau dimana dua atau lebih angkur mempunyai spasi kurang dari spasi kritis sebagai berikut:

Mode kegagalan yang diinvestigasi	Spasi kritis
Beton jebol (*breakout*) dalam tarik	$3h_{ef}$
Kekuatan lekatan dalam tarik	$2c_{Na}$
Beton jebol (*breakout*) dalam geser	$3c_{a1}$

Hanya angkur-angkur yang rentan terhadap mode kegagalan tertentu yang diinvestigasi harus disertakan dalam kelompok ini.

17.2.2 Kekuatan desain angkur harus sama atau lebih besar dari kekuatan perlu terbesar yang dihitung dengan kombinasi beban yang digunakan dalam 5.3.

17.2.3 *Desain seismic*

17.2.3.1 Angkur-angkur pada struktur yang ditetapkan sebagai Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F harus memenuhi persyaratan tambahan pada 17.2.3.2 hingga 17.2.3.7.

PENJELASAN

proporsional terhadap beban eksternal dan jarak dari sumbu netral kelompok angkur.

Jika kekuatan angkur ditentukan oleh kelelehan daktail angkur baja, redistribusi gaya-gaya pada angkur dapat signifikan terjadi. Dalam hal ini, analisis berdasarkan teori elastisitas menjadi konservatif. Cook dan Klingner (1992a, b) dan Lotze et al. (2001) membahas analisis nonlinier, menggunakan teori plastisitas untuk penentuan kapasitas kelompok angkur daktail.

R17.2.3 *Desain seismik* –Kecuali 17.2.3.4.1 atau 17.2.3.5.1 diterapkan, seluruh angkur pada struktur yang ditetapkan sebagai Kategori Desain Seismik (KDS) C, D, E, atau F diharuskan memenuhi persyaratan tambahan 17.2.3.1 hingga 17.2.3.7, tanpa mempedulikan beban gempa termasuk dalam pengontrolan kombinasi beban untuk desain angkur. Selain itu, semua angkur tanam pascacor pada struktur yang ditetapkan sebagai KDS C, D, E, atau F harus memenuhi persyaratan ACI 355.2 atau ACI 355.4 untuk prakualifikasi angkur yang menahan beban gempa. Idealnya, untuk beban tarik, kekuatan angkur harus ditentukan oleh kelelehan daktail elemen baja angkur. Jika angkur tidak dapat memenuhi persyaratan daktilitas yang ditentukan 17.2.3.4.3a), maka perangkat penyambung harus dirancang untuk leleh jika perangkat penyambung tersebut adalah struktural atau baja ringan (*light gauge steel*), atau didesain untuk hancur jika kayu. Jika persyaratan daktilitas 17.2.3.4.3a) dipenuhi, maka sebarang perangkat penyambung ke angkur harus didesain tidak leleh. Dalam mendesain perangkat penyambung menggunakan mekanisme leleh yang menyediakan daktilitas yang cukup, sebagaimana diizinkan oleh 17.2.3.4.3b) dan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	17.2.3.5.3a), rasio kekuatan leleh yang disyaratkan terhadap kekuatan yang diharapkan untuk material perangkat penyambung harus dipertimbangkan dalam menentukan gaya desain. Nilai yang digunakan untuk kekuatan yang diharapkan harus mempertimbangkan pengaruh kekuatan lebih (*overstrength*) dan pengerasan regangan (*strain hardening*) material. Misalnya, material dalam elemen sambungan dapat leleh dan karena peningkatan kekuatan dengan pengerasan regangan, menyebabkan kegagalan sekunder sub-elemen atau menimbulkan kebutuhan gaya atau deformasi tambahan pada angkur. Untuk perangkat penyambung baja struktural, jika hanya kekuatan leleh baja yang ditentukan diketahui, kekuatan yang diharapkan harus diambil sekitar 1,5 kali kekuatan leleh yang disyaratkan. Jika kekuatan leleh baja aktual diketahui, kekuatan yang diharapkan harus diambil sekitar 1,25 kali kekuatan leleh sebenarnya. Dalam kondisi seismik, arah geser mungkin tidak dapat diprediksi. Gaya geser penuh harus diasumsikan ke sebarang arah untuk keamanan desain.
17.2.3.2 Ketentuan-ketentuan dalam pasal ini tidak berlaku untuk desain angkur di daerah sendi plastis struktur beton akibat gaya gempa.	**R17.2.3.2** Ketentuan desain dalam pasal ini tidak berlaku untuk angkur di daerah sendi plastis. Kemungkinan retak beton dan pengelupasan beton (*spalling*) dengan tingkat yang lebih besar di daerah sendi plastis berada di luar kondisi dimana beton nominal yang menentukan hasil kekuatan dalam pasal ini dapat diterapkan. Daerah sendi plastis yang ditinjau sejarak sama dengan dua kali kedalaman komponen dari muka kolom atau balok, dan juga termasuk penampang lain di dinding, rangka, dan pelat di mana pelelehan tulangan dapat terjadi sebagai akibat perpindahan lateral. Bila angkur harus ditempatkan di daerah sendi plastis, maka angkur harus didetailkan sehingga gaya angkur disalurkan langsung ke tulangan angkur yang didesain untuk menahan gaya angkur ke dalam badan komponen struktur di luar daerah pengangkuran. Konfigurasi-konfigurasi angkur yang mengandalkan pada kekuatan tarik beton tidak boleh digunakan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.2.3.3 Angkur tanam pascacor harus terkualifikasi untuk pembebanan gempa sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4. Kekuatan cabut N_p dan kekuatan baja angkur dalam kondisi geser V_{sa} untuk angkur ekspansi dan ujung diperlebar harus berdasarkan hasil Uji Simulasi Seismik ACI 355.2. Untuk angkur adhesif, kekuatan baja dalam kondisi geser V_{sa} dan tegangan lekatan karakteristik τ_{uncr} dan τ_{cr} harus didasarkan hasil Uji Simulasi Seismik ACI 355.4.	**R17.2.3.3** Angkur-angkur yang tidak cocok digunakan pada beton retak sebaiknya tidak digunakan untuk menahan beban gempa. Kualifikasi angkur tanam pascacor yang digunakan pada beton retak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kualifikasi untuk menahan beban gempa di ACI 355.2 dan ACI 355.4. Hasil desain yang diperoleh dari Uji Simulasi Seismik ACI 355.2 dan ACI 355.4 diharapkan lebih kecil daripada untuk penerapan beban statik.
17.2.3.4 *Persyaratan untuk beban Tarik*	**R17.2.3.4** *Persyaratan untuk beban tarik*
17.2.3.4.1 Bila komponen tarik akibat gaya gempa tingkat kekuatan yang diterapkan pada angkur tunggal atau kelompok angkur adalah sama dengan atau kurang dari 20 persen gaya tarik angkur total terfaktor terkait dengan kombinasi beban yang sama, maka diizinkan untuk mendesain angkur tunggal atau kelompok angkur untuk memenuhi 17.4 dan persyaratan kekuatan tarik dalam 17.3.1.1.	**R17.2.3.4.1** Persyaratan 17.2.3.4.3 tidak berlaku jika gaya tarik gempa yang diterapkan hanya bagian kecil dari gaya tarik total terfaktor.
17.2.3.4.2 Bila komponen tarik akibat gaya gempa tingkat kekuatan yang diterapkan pada angkur melebihi 20 persen gaya tarik angkur total terfaktor terkait dengan kombinasi beban yang sama, angkur dan perangkat penyambungnya harus didrancang sesuai dengan 17.2.3.4.3. Kekuatan tarik desain angkur harus ditentukan sesuai dengan 17.2.3.4.4.	**R17.2.3.4.2** Jika elemen baja daktail adalah baja ASTM A36M atau ASTM A307, nilai f_{uta}/f_{ya} biasanya sekitar 1,5 dan angkur dapat mengulur sebelum gagal pada drat (*threads*). Untuk baja lainnya, perhitungan mungkin perlu dilakukan untuk memastikan bahwa perilaku serupa dapat terjadi. R17.4.1.2 memberikan informasi tambahan tentang properti baja angkur. Ketentuan penebalan ujung drat, dimana ujung drat batang diperbesar untuk mengkompensasi pengurangan luas yang berkaitan dengan pembuatan drat (*threading)*, dapat memastikan bahwa leleh terjadi pada panjang ulur tanpa memperhatikan rasio kekuatan leleh terhadap kekuatan *ultimite* angkur.
17.2.3.4.3 Angkur dan perangkat penyambungnya harus memenuhi salah satu dari pilihan a) hingga d): a) Untuk angkur tunggal, kekuatan yang dikendalikan beton harus lebih besar dari kekuatan baja angkur. Untuk kelompok angkur, rasio beban tarik pada angkur yang memiliki tegangan terbesar	**R17.2.3.4.3** Empat pilihan disediakan untuk menentukan kekuatan angkur atau perangkat penyambung yang diperlukan untuk mencegah kegagalan tarik nondaktail: Dalam pilihan a), persyaratan daktilitas angkur harus dipenuhi dan kekuatan angkur perlu ditentukan dengan menggunakan gaya gempa tingkat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
terhadap kekuatan baja angkur harus sama atau lebih besar dari rasio beban tarik pada angkur yang terbebani tarik terhadap kekuatan angkur tersebut yang dikendalikan beton. Dalam setiap kasus: i) Kekuatan baja harus diambil sebesar 1,2 kali kekuatan nominal baja angkur. ii) Kekuatan yang dikendalikan beton harus diambil sebesar kekuatan nominal yang memperhitungkan cabut (*pullout*), ambrol sisi samping (side-*face blowout*), jebol (*breakout*) beton, dan kekuatan lekatan yang sesuai. Untuk tinjauan cabut dalam kelompok angkur, rasio harus dihitung untuk angkur yang memiliki tegangan paling tinggi. Sebagai tambahan, hal berikut ini harus dipenuhi: iii) Angkur harus menyalurkan beban tarik melalui elemen baja daktail dengan panjang ulur sebesar paling sedikit delapan kali diameter angkur kecuali bilamana ditentukan oleh analisis. iv) Bila angkur dikenai beban yang berbalik, angkur harus dijaga terhadap tekuk. v) Bila sambungan didrat dan elemen baja daktail tidak didrat sepanjang panjang keseluruhannya, rasio f_{uta}/f_{ya} tidak boleh kurang dari 1,3 kecuali jika bagian drat menebal. bagian penebalan tidak boleh disertakan dalam panjang ulur. vi) Tulangan ulir yang digunakan sebagai elemen baja daktail untuk menahan pengaruh gempa harus dibatasi oleh ASTM A615M mutu 280 dan 420 yang memenuhi persyaratan 20.2.2.5(b) atau ASTM A706M mutu 420. b) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhadap tarik maksimum yang dapat disalurkan pada angkur atau kelompok angkur didasarkan pada pengembangan mekanisme kelelehan daktail pada perangkat penyambung dalam kondisi tarik, lentur, geser, atau tumpu, atau kombinasi kondisi-kondisi tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh kekuatan lebih material dan pengerasan regangan untuk perangkat	kekuatan yang bekerja pada struktur. Penelitian (Hoehler dan Eligehausen 2008; Vintzileou dan Eligehausen 1992) telah menunjukkan bahwa jika baja angkur leleh sebelum pengangkuran beton gagal, tidak ada reduksi kekuatan tarik angkur untuk beban gempa. Angkur baja daktail harus memenuhi persyaratan untuk elemen baja daktail pada Pasal 2. Untuk memfasilitasi perbandingan antara kekuatan baja, yang berdasarkan angkur yang memiliki tegangan terbesar, dan kekuatan beton berdasarkan perilaku kelompok angkur, perancangan dilakukan atas dasar rasio beban yang diterapkan terhadap masing-masing kekuatan baja dan beton. Pada beberapa struktur, angkur dapat dijadikan tempat terbaik untuk disipasi energi dalam rentang respons nonlinier. Panjang ulur angkur (zona tak berlekatan) mempengaruhi kapasitas perpindahan lateral struktur dan, oleh karena itu, panjangnya harus cukup sehingga perpindahan yang terkait dengan desain berbasis gempa dapat dicapai (FEMA P750). Pengamatan dari kejadian gempa menunjukkan bahwa ketentuan panjang ulur delapan kali diameter angkur menghasilkan kinerja struktur yang baik. Jika panjang ulur yang dihitung, maka kekakuan relatif elemen yang terhubung perlu dipertimbangkan. Ketika angkur dikenai beban yang berbalik, dan panjang pelelehan di luar beton melebihi enam kali diameter angkur, mungkin terjadi tekuk pada angkur dalam tekan. Tekuk dapat ditahan dengan menempatkan angkur di dalam selongsong. Namun, harus diperhatikan bahwa selongsong tidak ikut menahan beban tarik yang bekerja pada angkur. Untuk baut angkur tanpa drat di seluruh panjangnya, penting untuk memastikan bahwa pelelehan terjadi pada bagian baut tanpa drat sepanjang ulur sesaat sebelum kegagalan di bagian ber-drat. Ini dilakukan dengan mempertahankan margin yang cukup antara leleh yang disyaratkan dan kekuatan ultimit dari baut. Perlu dicatat bahwa panjang ulur yang tersedia dapat dipengaruhi oleh teknik konstruksi (misalnya, penambahan *leveling* mur *(nut)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar R17.2.3.4.3).

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

penyambungnya. Kekuatan tarik desain angkur harus dihitung oleh 17.2.3.4.4.

c) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhdap tarik maksimum yang dapat disalurkan ke angkur oleh perangkat penyambung yang tidak leleh. Kekuatan tarik desain angkur harus dihitung oleh 17.2.3.4.4.

d) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhdap tarik maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang menyertakan E, dengan E ditingkatkan oleh Ω_o. Kekuatan tarik desain angkur harus memenuhi persyaratan kekuatan tarik oleh 17.2.3.4.4.

PENJELASAN

Dalam pilihan b), angkur didesain untuk gaya tarik yang berhubungan dengan kekuatan logam atau material serupa yang diharapkan dari perangkat penyambung. Untuk pilihan b), sebagaimana dibahas dalam R17.2.3, harus diperhatikan dalam perancangan untuk mempertimbangkan konsekuensi dari potensi perbedaan antara kekuatan leleh yang ditentukan dan kekuatan yang diharapkan dari perangkat penyambung. Sebagai contoh adalah 18.5.2.2 untuk desain sambungan dinding pracetak menengah dimana sambungan tidak didesain untuk leleh harus memenuhi setidaknya $1{,}5S_y$, dimana S_y adalah kekuatan nominal dari elemen yang leleh berdasarkan kekuatan leleh yang ditentukan. Sama halnya, manual desain baja mensyaratkan bahwa sambungan baja struktural yang ditetapkan tidak leleh dan merupakan bagian dari lintasan beban gempa harus memiliki kekuatan desain yang melebihi suatu kelipatan terhadap kekuatan nominal. Nilai kelipatan ini tergantung pada faktor yang terkait dengan kemungkinan rasio kekuatan leleh aktual terhadap yang disyaratkan pada material tersebut dan faktor tambahan yang melebihi satu untuk memperhitungkan pengerasan regangan material. Untuk perangkat penyambung baja canai dingin atau kayu, prinsip yang sama harus digunakan untuk menentukan kekuatan yang diharapkan dari perangkat penyambung untuk menentukan kekuatan yang diperlukan dari pengangkuran tersebut.

Panduan tambahan tentang penggunaan pilihan a) hingga d) disediakan dalam *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures* edisi 2009 (FEMA P750). Desain angkur sesuai pilihan a) harus digunakan hanya jika perilaku leleh angkur dapat ditentukan dengan baik dan dimana interaksi leleh angkur dengan elemen lain di lintasan beban telah ditangani secara cukup. Untuk desain angkur pilihan b), gaya yang berhubungan dengan leleh dari perangkat penyambung baja, seperti pelat siku, pelat tumpuan (*baseplate*), atau *web tab*, harus menggunakan kekuatan yang diperkirakan, daripada kekuatan leleh baja yang disyaratkan. Pilihan c) dapat berlaku untuk

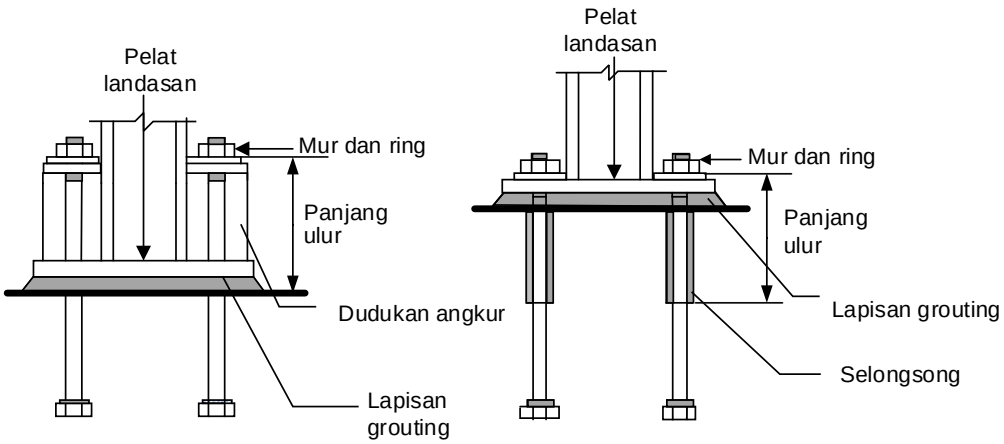
© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

berbagai kasus khusus, seperti perancangan *baut sill* dimana *crushing* kayu membatasi gaya yang dapat disalurkan ke baut, atau dimana ketentuan *American National Standards Institute / American Institute of Steel Construction* (AISC) *Code Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC 341) mensyaratkan beban berdasarkan kekuatan elemen.



(a) Dudukan angkur *(b) Selongsong angkur*

Gambar R17.2.3.4.3 – Ilustrasi panjang ulur

17.2.3.4.4 Kekuatan tarik desain angkur untuk menahan gaya gempa harus ditentukan oleh tinjauan a) hingga e) untuk mode kegagalan yang diberikan dalam Tabel 17.3.1.1 dengan mengasumsikan beton retak kecuali jika dapat dibuktikan bahwa beton tetap tidak retak:

a) ϕN_{sa} untuk angkur tunggal, atau untuk angkur individu yang memiliki tegangan paling tinggi dalam kelompok angkur
b) $0{,}75\phi N_{cb}$ atau $0{,}75\phi N_{cbg}$, kecuali bahwa N_{cb} atau N_{cbg} tidak perlu dihitung bila tulangan angkur yang memenuhi 17.4.2.9 disediakan
c) $0{,}75\phi N_{pn}$ untuk angkur tunggal, atau untuk angkur individu yang memiliki tegangan paling tinggi dalam kelompok angkur
d) $0{,}75\phi N_{sb}$ atau $0{,}75\phi N_{sbg}$
e) $0{,}75\phi N_{a}$ atau $0{,}75\phi N_{ag}$

dimana ϕ sesuai dengan 17.3.3.

R17.2.3.4.4 Kekuatan tarik nominal angkur yang tereduksi berhubungan dengan mode kegagalan beton adalah untuk memperhitungkan peningkatan retak dan pengelupasan (*spalling*) pada beton yang dihasilkan gaya gempa. Karena perancangan gempa umumnya mengasumsikan bahwa semua atau sebagian struktur dibebani melampaui batas lelehnya, dimungkinkan bahwa beton retak secara keseluruhan dengan tujuan menentukan kekuatan angkur. Di lokasi dimana dapat dibuktikan bahwa beton tidak retak, beton tidak retak dapat diasumsikan untuk menentukan kekuatan angkur sebagaimana ditentukan oleh mode kegagalan beton.

17.2.3.4.5 Bila tulangan angkur disesuaikan dengan 17.4.2.9, tidak perlu

R17.2.3.4.5 Bila tulangan angkur yang dicantumkan dalam 17.4.2.9 dan 17.5.2.9

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
ada reduksi kekuatan tarik desain yang melebihi yang disyaratkan dalam 17.4.2.9.	digunakan, dengan properti yang dicantumkan dalam 20.2.2.5, tidak ada pemisahan potensi jebol (*breakout*) berbentuk prisma dari substrat yang mungkin terjadi asalkan tulangan angkur dirancang untuk beban yang lebih besar dari kekuatan jebol beton.
17.2.3.5 *Persyaratan untuk pembebanan geser*	**R17.2.3.5** *Persyaratan untuk pembebanan geser* – Bila komponen geser gaya gempa yang diterapkan pada angkur melebihi 20 persen dari total gaya geser angkur, tiga pilihan dapat digunakan untuk menentukan kekuatan geser perlu untuk menjaga angkur atau kelompok angkur terhadap kegagalan geser prematur. Pilihan a) 17.2.3.4.3 tidak tersedia untuk geser karena penampang elemen baja angkur tidak dapat dikonfigurasikan sehingga kegagalan baja dalam geser memberikan tingkat daktilitas yang berarti. Perancangan kekuatan angkur atau kelompok angkur terkait dengan mekanisme pembatasan-gaya dalam pilihan b), seperti kekuatan tumpu pada lubang-lubang pada perangkat penyambung baja atau kombinasi kekuatan *crushing* dan tumpuan untuk komponen kayu, mungkin sangat relevan. Pengujian pada sambungan baut angkur untuk *wood-framed* dinding geser (Fennel et al. 2009) menunjukkan bahwa komponen kayu yang melekat pada beton dengan jarak tepi minimum menghasilkan perilaku daktail. Kayu "leleh" (hancur) adalah kondisi batas pertama dan mengakibatkan *nail slippage* dalam kondisi geser. *Nail slippage* yang dikombinasikan dengan lentur baut memberikan daktilitas dan ketangguhan yang diperlukan untuk dinding geser dan membatasi beban yang bekerja pada baut. Prosedur untuk pendefinisian kondisi batas tumpuan dan geser untuk sambungan ke baja canai dingin dijelaskan dalam AISI S100 dan contoh perhitungan kekuatan disediakan dalam manual AISI (AISI D100). Dalam kasus seperti itu, perhatian harus diberikan apabila kekuatan tumpu terlampaui dapat menyebabkan robek dan hilangnya konektivitas yang tidak diperbolehkan. Jika angkur berada jauh dari tepi maka tidak diperbolehkan untuk merancang sedemikian rupa sehingga tulangan angkur menentukan kekuatan

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	angkur. Dalam kasus seperti itu, angkur harus didesain untuk kekuatan lebih sesuai dengan pilihan c).
17.2.3.5.1 Bila komponen geser gaya gempa tingkat kekuatan yang diterapkan pada angkur atau kelompok angkur sama dengan atau kurang dari 20 persen gaya geser angkur terfaktor total yang terkait dengan kombinasi beban yang sama, diizinkan untuk mendesain angkur atau kelompok angkur memenuhi 17.5 dan persyaratan kekuatan geser dalam 17.3.1.1.	**R17.2.3.5.1** Persyaratan 17.2.3.5.3 tidak perlu diterapkan jika gaya geser gempa yang diterapkan hanya bagian kecil dari total gaya geser terfaktor.
17.2.3.5.2 Bila komponen geser gaya gempa tingkat kekuatan yang diterapkan pada angkur melebihi 20 persen gaya geser angkur total terfaktor terkait dengan kombinasi beban yang sama, angkur dan perangkat penyambungnya harus dirancang sesuai dengan 17.2.3.5.3. Kekuatan geser desain angkur untuk menahan gaya gempa harus ditentukan sesuai dengan 17.5.	
17.2.3.5.3 Angkur-angkur dan perangkat penyambungnya harus didesain menggunakan salah satu dari pilihan a) hingga c): a) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhadap geser maksimum yang dapat disalurkan ke angkur atau kelompok angkur berdasarkan pada pengembangan mekanisme leleh daktail pada perangkat penyambung dalam kondisi lentur, geser, atau tumpu, atau kombinasi dari kondisi-kondisi tersebut, dan memperhitungkan baik kekuatan lebih material maupun pengaruh pengerasan regangan pada perangkat penyambung. b) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhadap geser maksimum yang dapat disalurkan ke angkur oleh perangkat penyambung yang tidak leleh. c) Angkur atau kelompok angkur harus didesain terhadap geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang menyertakan E, dengan E ditingkatkan dengan Ω_o. kekuatan geser desain angkur harus memenuhi	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
persyaratan kekuatan geser dalam 17.3.1.1.	
17.2.3.5.4 Bila tulangan angkur disediakan sesuai dengan 17.5.2.9, tidak perlu ada reduksi kekuatan geser desain melebihi yang disyaratkan dalam 17.5.2.9.	
17.2.3.6 Angkur tunggal atau kelompok angkur yang dikenai baik gaya tarik maupun geser harus didesain untuk memenuhi persyaratan dalam 17.6, dengan kekuatan tarik desain angkur yang dihitung oleh 17.2.3.4.4.	
17.2.3.7 Tulangan angkur yang digunakan pada struktur yang dikenai Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F harus berupa tulangan ulir dan harus dibatasi dengan ASTM A615M Mutu 280 dan 420 yang memenuhi persyaratan 20.2.2.5b) (i) dan (ii) atau ASTM A706M Mutu 420.	
17.2.4 Angkur adhesif yang dipasang secara horizontal atau miring ke atas harus dikualifikasi sesuai dengan persyaratan ACI 355.4 untuk sensitivitas terhadap arah pemasangan.	**R17.2.4** ACI 355.4 mencakup pilihan pengujian untuk memastikan kesesuaian angkur adhesif untuk pemasangan arah horizontal dan miring ke atas.
17.2.5 Untuk angkur adhesif yang dikenai pembebanan tarik tetap, 17.3.1.2 harus dipenuhi. Untuk kelompok angkur adhesif, Pers. (17.3.1.2) harus dipenuhi untuk angkur yang menahan beban tarik tetap tertinggi. Sertifikasi pemasang dan persyaratan inspeksi angkur adhesif untuk arah horizontal dan miring ke atas yang dikenai pembebanan tarik tetap harus sesuai 17.8.2.2 hingga 17.8.2.4.	**R17.2.5** Untuk angkur adhesif yang dikenai pembebanan tarik tetap, perhitungan tambahan untuk bagian yang tetap dari beban terfaktor untuk tahanan lekatan tereduksi diperlukan untuk memperhitungkan kemungkinan penurunan kekuatan lekatan akibat beban tetap. Tahanan angkur adhesif terhadap beban tarik tetap tergantung pada pemasangan yang benar, termasuk pembersihan lubang, penakaran dan pencampuran bahan adhesif, dan pencegahan rongga pada garis lekatan adhesif (*annular gap*). Selain itu, perhatian harus diberikan dalam pemilihan bahan adhesif yang benar dan kekuatan lekatan untuk perkiraan kondisi di lapangan seperti kondisi beton selama pemasangan (kering atau jenuh, dingin atau panas), metode pengeboran yang digunakan (*rotary impact drill, rock drill, atau core drill*), dan antisipasi variasi suhu layan dalam beton. Persyaratan sertifikasi pemasang dan inspeksi yang terkait dengan penggunaan angkur adhesif untuk pemasangan arah

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	horizontal dan miring ke atas untuk menahan beban tarik tetap dibahas dalam 17.8.2.2 hingga 17.8.2.4. Angkur adhesif sangat sensitif terhadap arah pemasangan dan jenis pembebanan. Angkur adhesif yang dipasang pada permukaan di atas kepala yang menahan beban tarik tetap, perlu menjadi perhatian karena pemasangan sebelumnya dari jenis ini sering mengalami kegagalan. Jenis angkur lainnya mungkin lebih tepat untuk kasus semacam itu. Bila angkur adhesif yang mengalami pembebanan tarik tetap dipasang pada permukaan di atas kepala, maka penting untuk a) memenuhi persyaratan pengujian ACI 355.4 untuk sensitivitas terhadap arah pemasangan, b) menggunakan pemasang bersertifikat, dan c) mensyaratkan inspeksi khusus.
17.2.6 Faktor modifikasi λ_a untuk beton ringan harus diambil sebesar: Kegagalan beton angkur tanam cor ditempat dan ujung diperlebar .....**1,0λ** Kegagalan beton angkur ekspansi dan adhesif .....**0,8λ** Kegagalan lekatan angkur adhesif menurut Pers. (17.4.5.2) .....**0,6λ** bila λ ditentukan sesuai 19.2.4. Diizinkan menggunakan nilai alternatif λ_a bilamana pengujian telah dilakukan dan dievaluasi sesuai ACI 355.2 atau ACI 355.4.	**R17.2.6** Jumlah pengujian yang tersedia untuk menetapkan kekuatan angkur pada beton ringan terbatas. Pengujian beton ringan pada *stud* berkepala cor ditempat menunjukkan bahwa faktor reduksi λ saat ini cukup mewakili pengaruh beton ringan (Shaikh dan Yi 1985; Anderson dan Meinheit 2005). Data pabrikan angkur yang dikembangkan untuk laporan evaluasi pada angkur ekspansi pascacor dan angkur adhesif menunjukkan bahwa faktor reduksi λ diperlukan untuk memberikan faktor keamanan yang diperlukan untuk kekuatan desain masing-masing. ACI 355.2 dan ACI 355.4 memberikan prosedur di mana nilai spesifik λ_a yang dapat digunakan berdasarkan pengujian, dengan asumsi beton ringan mirip dengan rujukan material uji.
17.2.7 Nilai f_c' yang digunakan untuk tujuan perhitungan dalam pasal ini tidak boleh melebihi 70 MPa untuk angkur tanam dicor di tempat, dan 55 MPa untuk angkur tanam pascacor. Pengujian diperlukan untuk angkur tanam pascacor bilamana digunakan pada beton dengan f_c' lebih besar dari 55 MPa.	**R17.2.7** Jumlah pengujian yang terbatas pada angkur tanam cor ditempat dan tanam pascacor pada beton mutu tinggi (Primavera et al. 1997) menunjukkan bahwa prosedur perancangan yang terkandung dalam pasal ini menjadi tidak konservatif, terutama untuk angkur tanam cor ditempat dengan kekuatan tekan beton dalam rentang 75 hingga 85 MPa. Sampai pengujian lebih lanjut tersedia, batas atas f_c' sama dengan 70 MPa telah ditetapkan dalam perancangan angkur tanam cor ditempat. Keterbatasan ini konsisten dengan 22.5.3 dan 25.4.1.4. ACI 355.2 dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	ACI 355.4 tidak memerlukan pengujian angkur tanam pascacor di beton dengan f_c' lebih besar dari 55 MPa. Beberapa angkur ekspansi pascacor mungkin mengalami kesulitan berekspansi di dalam beton bermutu sangat tinggi dan beton bermutu sangat tinggi dapat berdampak negatif pada kekuatan lekatan angkur adhesif. Oleh karena itu, f_c' dibatasi pada 55 MPa dalam desain angkur tanam pascacor kecuali pengujian dilakukan.
17.3 - Persyaratan umum untuk kekuatan angkur **17.3.1** Kekuatan desain angkur harus didasarkan pada salah satu dari perhitungan menggunakan model desain yang memenuhi persyaratan 17.3.2, atau evaluasi uji menggunakan fraktil 5 persen dari hasil uji yang sesuai untuk berikut ini: a) Kekuatan baja angkur dalam kondisi tarik (17.4.1) b) Kekuatan jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi tarik (17.4.2) c) Kekuatan cabut (*pullout*) angkur ekspansi, angkur tanam cor ditempat, atau ujung diperlebar (*undercut*) pascacor dalam kondisi tarik (17.4.3) d) Kekuatan ambrol (*blowout*) muka samping beton angkur berkepala dalam kondisi tarik (17.4.4) e) Kekuatan lekatan angkur adhesif dalam kondisi tarik (17.4.5) f) Kekuatan baja angkur dalam kondisi geser (17.5.1) g) Kekuatan jebol (*breakout*) beton angkur dalam kondisi geser (17.5.2) h) Kekuatan jungkit (*pryout*) beton angkur dalam kondisi geser (17.5.3) Sebagai tambahan, angkur harus memenuhi jarak tepi, spasi, dan tebal perlu untuk mencegah kegagalan belah (*splitting*), seperti disyaratkan dalam 17.7. **17.3.1.1** Desain angkur harus sesuai dengan Tabel 17.3.1.1. Sebagai tambahan, desain angkur harus memenuhi 17.2.3 untuk pembebanan gempa dan 17.3.1.2 untuk angkur adhesif yang dikenai pembebanan tarik tetap.	**R17.3 - Persyaratan umum untuk kekuatan angkur** **R17.3.1** Bagian ini memberikan persyaratan untuk menetapkan kekuatan angkur di beton. Berbagai jenis mode kegagalan baja dan beton untuk angkur ditunjukkan pada Gambar R17.3.1(a) dan R17.3.1(b). Diskusi komprehensif tentang mode kegagalan angkur ada di *Design of Fastenings in Concrete* (1997), Fuchs et al. (1995), Eligehausen and Balogh (1995), dan Cook et al. (1998). Mode kegagalan tarik yang terkait dengan kapasitas beton termasuk kegagalan jebol (*breakout*) beton pada 17.4.2 (berlaku untuk semua jenis angkur), kegagalan cabut (*pullout*) pada 17.4.3 (berlaku untuk angkur tanam cor ditempat, ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar), kegagalan ambrol (*blowout*) muka samping di 17.4.4 (berlaku untuk angkur berkepala), dan kegagalan lekatan di 17.4.5 (berlaku untuk angkur adhesif). Mode kegagalan geser terkait dengan kapasitas beton termasuk kegagalan jebol (*breakout*) beton dan jungkit (*pryout*) beton secara berurutan di 17.5.2 dan 17.5.3 (berlaku untuk semua jenis angkur). Sebarang model yang sesuai dengan persyaratan 17.3.1.3 dan 17.3.2 dapat digunakan untuk menetapkan kekuatan terkait beton. Selain itu, kekuatan tarik dan geser angkur dibatasi oleh jarak minimum dan jarak tepi dalam 17.7 yang diperlukan untuk mencegah belah beton. Desain angkur tanam pascacor menunjukkan bahwa kekuatan angkur sensitif terhadap pemasangan yang benar; Persyaratan pemasangan terdapat di 17.8. Beberapa angkur tanam pascacor tidak terlalu sensitif terhadap kesalahan pemasangan dan toleransi. Hal ini tercermin dalam faktor-ϕ yang beragam

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 17.3.1.1 – Kekuatan perlu angkur, kecuali seperti tercatat dalam 17.2.3

Mode kegagalan	Angkur tunggal	Kelompok angkur [1]	
		Angkur individu dalam kelompok angkur	Angkur sebagai kelompok angkur
Kekuatan baja dalam tarik (17.4.1)	$\phi N_{sa} \geq N_{ua}$	$\phi N_{sa} \geq N_{ua,i}$	
Kekuatan jebol beton dalam tarik (17.4.2)	$\phi N_{cb} \geq N_{ua}$		$\phi N_{cbg} \geq N_{ua,g}$
Kekuatan cabut dalam tarik (17.4.3)	$\phi N_{pn} \geq N_{ua}$	$\phi N_{pn} \geq N_{ua,i}$	
Kekuatan ambrol beton muka samping dalam tarik (17.4.4)	$\phi N_{sb} \geq N_{ua}$		$\phi N_{sbg} \geq N_{ua,g}$
Kekuatan lekatan angkur adhesif dalam tarik (17.4.5)	$\phi N_{a} \geq N_{ua}$		$\phi N_{ag} \geq N_{ua,g}$
Kekuatan baja dalam geser (17.5.1)	$\phi V_{sa} \geq V_{ua}$	$\phi V_{sa} \geq V_{ua,i}$	
Kekuatan jebol beton dalam geser (17.5.2)	$\phi V_{cb} \geq V_{ua}$		$\phi V_{cbg} \geq N_{ua,g}$
Kekuatan jungkit beton dalam geser (17.5.3)	$\phi V_{cp} \geq V_{ua}$		$\phi V_{cpg} \geq V_{ua,g}$

[1]Kekuatan perlu untuk mode kegagalan baja dan cabut harus dihitung untuk angkur yang tegangannya paling tinggi dalam kelompok angkur.

PENJELASAN

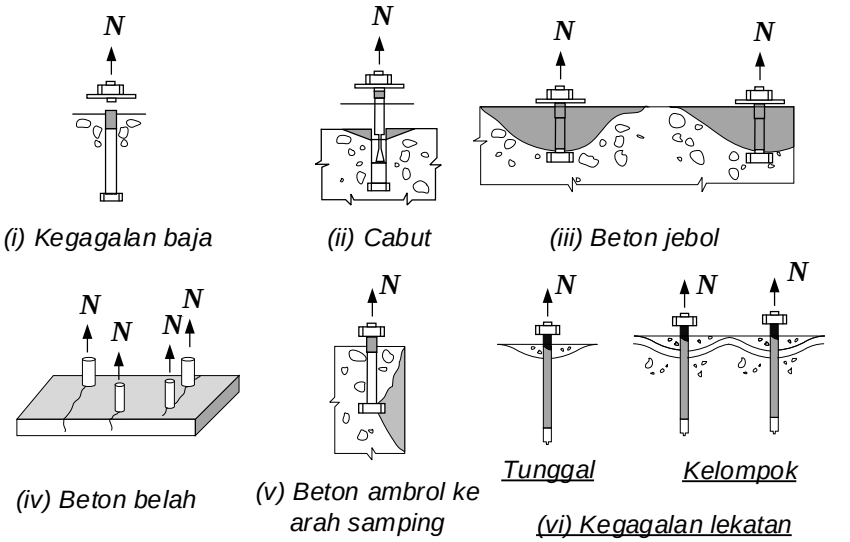
yang diberikan dalam 17.3.3, berdasarkan kriteria asesmen dalam ACI 355.2 dan ACI 355.4.

Prosedur pengujian juga dapat digunakan untuk menentukan kekuatan jebol angkur tunggal pada kondisi tarik dan geser. Hasil pengujian, bagaimanapun, diperlukan untuk dievaluasi dengan dasar statistik yang setara dengan yang digunakan untuk memilih nilai-nilai untuk metode jebol beton yang dianggap memenuhi ketentuan 17.3.2. Kekuatan dasar tidak dapat diambil lebih besar dari fraktil 5 persen. Jumlah pengujian harus cukup untuk validitas secara statistik dan harus dipertimbangkan dalam penentuan fraktil 5 persen.

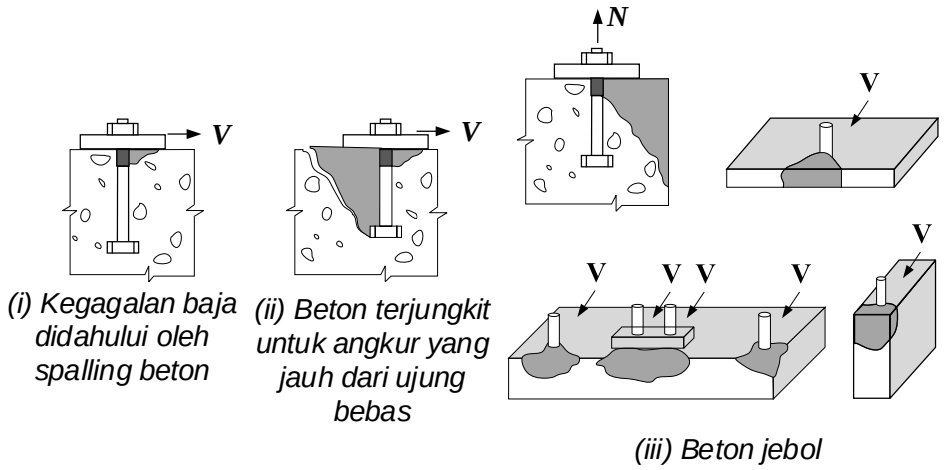
Akibat kombinasi tarik dan lentur, angkur individu dalam suatu kelompok mengalami perbedaan besaran gaya tarik. Demikian pula, akibat gabungan geser dan torsi, angkur individu dalam suatu kelompok mengalami perbedaan besaran gaya geser. Tabel 17.3.1.1 mencakup persyaratan-persyaratan untuk mendesain angkur tunggal dan angkur individu dalam kelompok untuk menjaga terhadap semua potensi mode kegagalan. Untuk mode kegagalan baja dan cabut (*pullout*), angkur yang paling tinggi tegangannya di dalam kelompok harus diperiksa untuk memastikan angkur memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan pembebanan, sedangkan untuk jebol (*breakout*) beton, angkur harus diperiksa sebagai kelompok. Analisis elastis atau analisis plastis dari angkur daktail seperti yang dijelaskan dalam 17.2.1 dapat digunakan untuk menentukan beban yang ditahan oleh setiap angkur.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**



(a) Beban tarik



(b) Beban geser

Gambar R17.3.1 – Jenis-jenis mode kegagalan angkur

17.3.1.2 Untuk desain angkur adhesif untuk menahan beban tarik tetap, sebagai tambahan pada 17.3.1.1, Pers. (17.3.1.2) harus terpenuhi.

$$0{,}55\phi N_{ba} \geq N_{ua,s} \quad (17.3.1.2)$$

dimana N_{ba} ditentukan sesuai dengan 17.4.5.2.

R17.3.1.2 Faktor 0,55 yang digunakan untuk perhitungan tambahan untuk beban tetap berkorelasi dengan persyaratan pengujian ACI 355.4 dan memberikan kinerja yang memuaskan dari angkur adhesif akibat beban tarik tetap ketika digunakan sesuai dengan ACI 355.4. Evaluasi produk menurut ACI 355.4 didasarkan pada pembebanan tarik tetap yang ada selama minimal 50 tahun pada suhu standar 21°C dan minimum 10 tahun pada suhu 43°C. Untuk rentang hidup yang lebih lama (misalnya, lebih dari 50 tahun) atau suhu yang lebih tinggi, faktor yang lebih rendah harus dipertimbangkan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

17.3.1.3 Bila kedua N_{ua} dan V_{ua} ada, pengaruh interaksi harus ditinjau menggunakan perumusan interaksi yang menghasilkan perhitungan kekuatan yang sangat sesuai dengan hasil uji yang komprehensif. Persyaratan ini harus dianggap dipenuhi oleh 17.6.

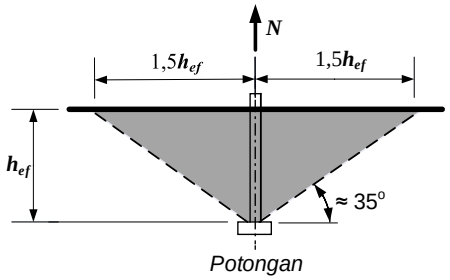
17.3.2 Kekuatan nominal untuk sebarang angkur atau kelompok angkur harus didasarkan pada model desain yang menghasilkan prediksi kekuatan yang berkesesuaian dengan hasil uji yang komprehensif. Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian harus kompatibel dengan bahan-bahan yang digunakan dalam struktur. Kekuatan nominal harus didasarkan pada fraktil 5 persen kekuatan angkur individu dasar. Untuk kekuatan nominal terkait dengan kekuatan beton, modifikasi untuk pengaruh ukuran, jumlah angkur, pengaruh spasi angkur yang dekat, kedekatan tepi, tinggi komponen struktur beton, pembebanan eksentris kelompok angkur, dan keberadaan atau ketidakberadaan retak harus diperhitungkan. Batasan-batasan jarak tepi dan spasi angkur dalam model desain harus konsisten dengan uji yang memverifikasi model tersebut.

PENJELASAN

R17.3.1.3 dan R17.3.2 Pasal 17.3.1.3 dan 17.3.2 menetapkan faktor-faktor kinerja dimana model desain angkur harus diverifikasi. Banyak pendekatan desain yang tersedia dan pengguna selalu diizinkan untuk "mendesain dengan pengujian" menggunakan 17.3.2 asalkan data yang tersedia memadai untuk memverifikasi model.

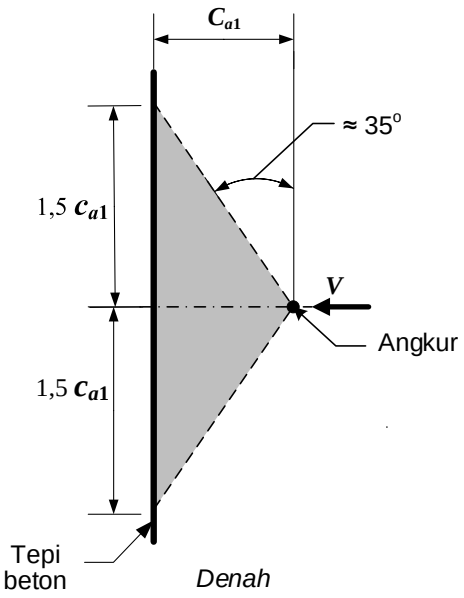
Metode untuk desain jebol (*breakout*) beton termasuk sebagai "dianggap memuaskan" 17.3.2 dikembangkan dari Metode *Concrete Capacity Design* (CCD) (Fuchs et al. 1995; Eligehausen dan Balogh 1995), yang merupakan adaptasi dari Metode Kappa (*Kappa Method*) (Eligehausen et al. 2006a; Eligehausen dan Fuchs 1988) dan dianggap akurat, relatif mudah diterapkan, dan mampu dikembangkan untuk tata letak yang tidak beraturan. Metode CCD memprediksi kekuatan angkur atau kelompok angkur dengan menggunakan persamaan dasar untuk tarik, atau untuk geser untuk angkur tunggal di dalam beton retak, dan dikalikan dengan faktor-faktor yang memperhitungkan jumlah angkur, jarak tepi, spasi, eksentrisitas, dan keberadaan retak. Investigasi eksperimental dan numerik telah menunjukkan penerapan Metode CCD untuk angkur adhesif (Eligehausen et al. 2006a).

Perhitungan kekuatan jebol didasarkan pada model yang disarankan dalam Metode Kappa. Hal ini konsisten dengan sudut prisma jebol (*breakout*) sekitar 35 derajat (Gambar R17.3.2a dan b).



Gambar R17.3.2a – Kerucut jebol (*breakout cone*) untuk kondisi tarik

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R17.3.2b – Kerucut jebol (*breakout cone*) untuk kondisi geser**
17.3.2.1 Pengaruh tulangan yang disediakan untuk mengekang jebolnya beton diizinkan disertakan dalam model desain yang digunakan untuk memenuhi 17.3.2. Bilamana tulangan angkur disediakan sesuai dengan 17.4.2.9 dan 17.5.2.9, perhitungan kekuatan jebol beton sesuai 17.4.2 dan 17.5.2 tidak diperlukan.	**R17.3.2.1** Penambahan tulangan dalam arah beban untuk menahan jebol beton dapat meningkatkan kekuatan dan kapasitas deformasi yang besar pada sambungan angkur. Peningkatan seperti ini mudah dilaksanakan pada angkur tanam cor ditempat seperti yang digunakan dalam segmen pracetak. CEB (1994, 1997), Klingner et al. (1982), ACI 349, dan Eligehausen et al. (2006b) memberikan informasi mengenai pengaruh tulangan pada perilaku angkur. Pengaruh tulangan tidak termasuk dalam uji penerimaan angkur ACI 355.2 dan ACI 355.4 atau dalam metode perhitungan jebol beton 17.4.2 dan 17.5.2. Efek menguntungkan dari tulangan tambahan dikenali dari faktor-ϕ di kondisi A pada 17.3.3. Tulangan angkur dapat diberikan alih-alih menghitung kekuatan jebol menggunakan ketentuan Pasal 25 bersama dengan 17.4.2.9 dan 17.5.2.9. Kekuatan jebol sambungan tanpa tulangan dapat diambil dengan indikasi beban saat retak yang signifikan terjadi. Retak seperti itu dapat menimbulkan masalah layan jika tidak dikontrol (lihat R17.5.2.1).
17.3.2.2 Untuk angkur dengan diameter tidak melebihi 100 mm, persyaratan	**R17.3.2.2** Batasan pada diameter angkur didasarkan pada rentang data pengujian

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
kekuatan jebol beton harus dianggap dipenuhi oleh prosedur desain dalam 17.4.2 dan 17.5.2.	saat ini. Dalam ACI Code edisi 2002 hingga 2008, terdapat batasan diameter dan penanaman angkur untuk menghitung kekuatan jebol beton. Keterbatasan ini dituntut oleh kurangnya hasil pengujian pada angkur dengan diameter lebih besar dari 50 mm dan panjang pengangkuran lebih panjang dari 600 mm. Pada tahun 2011, pembatasan diameter angkur dan panjang pengangkuran direvisi untuk membatasi diameter hingga 100 mm berdasarkan hasil pengujian tarik dan geser pada angkur berdiameter besar dengan pengangkuran yang dalam (Lee et al. 2007, 2010). Tes-tes ini termasuk angkur diameter 105 mm tertanam 1,15 m pada tes tarik dan angkur diameter 90 mm pada tes geser. Alasan untuk batas diameter 100 mm ini adalah bahwa angkur diameter terbesar di ASTM F1554 adalah 100 mm, sedangkan spesifikasi ASTM lainnya mengizinkan angkur hingga berdiameter 200 mm yang belum teruji untuk memastikan penerapan mengikuti ketentuan jebol beton 17.4.2 dan 17.5.2.
17.3.2.3 Untuk angkur adhesif dengan kedalaman penanaman $4d_a \leq h_{ef} \leq 20d_a$, persyaratan kekuatan lekatan harus dianggap dipenuhi oleh prosedur desain dalam 17.4.5.	**R17.3.2.3** ACI 355.4 membatasi kedalaman pengangkuran angkur adhesif pada $4d_a \leq h_{ef} \leq 20d_a$, yang mewakili batas teoritis dari model lekatan (Eligehausen et al. 2006a).
17.3.3 Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk angkur dalam beton harus sebagai berikut bila kombinasi beban dalam 5.3 digunakan: a) Angkur yang dikendalikan oleh kekuatan elemen baja daktail i) Beban tarik ..... 0,75 ii) Beban geser ..... 0,65 b) Angkur yang dikendalikan oleh kekuatan elemen baja getas i) Beban tarik ..... 0,65 ii) Beban geser ..... 0,60 c) Angkur yang dikendalikan oleh kekuatan jebol (*breakout*), ambrol muka samping (*side-face* blowout), cabut (*pullout*), atau jungkit (*pryout*) beton Kondisi A Kondisi B i) Beban geser ..... 0,75 ..... 0,70 ii) Beban tarik *Stud* berkepala dicor di tempat, baut berkepala, atau baut berkait..... 0,75 0,70	**R17.3.3** Faktor-ϕ untuk kekuatan baja didasarkan pada penggunaan f_{uta} untuk menentukan kekuatan nominal angkur (lihat 17.4.1 dan 17.5.1) daripada f_{ya}, seperti yang digunakan dalam desain komponen beton bertulang. Meskipun faktor-ϕ untuk digunakan dengan f_{uta} tampak rendah, mereka menghasilkan tingkat keamanan yang konsisten dengan penggunaan faktor-ϕ yang lebih tinggi yang diterapkan pada f_{ya}. Faktor-ϕ yang lebih kecil untuk geser daripada tarik tidak mencerminkan perbedaan bahan dasar tetapi lebih mempertimbangkan kemungkinan distribusi geser yang tidak seragam pada koneksi dengan angkur majemuk. Masih diperbolehkan untuk mengalami kegagalan daktail elemen baja pada perangkat penyambung jika perangkat penyambung dirancang sedemikian rupa sehingga akan mengalami leleh daktail pada level beban yang sesuai

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Angkur tanam pascacor dengan kategori seperti ditentukan dari ACI 355.2 atau ACI 355.4

Kategori 1 (Sensitivitas rendah terhadap pemasangan dan reliabilitas tinggi)	0,75	0,65
Kategori 2 (Sensitivitas menengah terhadap pemasangan dan reliabilitas menengah)	0,65	0,55
Kategori 3 (Sensitivitas tinggi terhadap pemasangan dan reliabilitas rendah)	0,55	0,45

Kondisi A berlaku bila terdapat tulangan tambahan kecuali untuk kekuatan cabut (*pullout*) dan jungkit (*pryout*).

Kondisi B berlaku bila tidak terdapat tulangan tambahan, dan untuk kekuatan cabut (*pullout*) atau jungkit (*pryout*).

PENJELASAN

dengan gaya yang terjadi pada angkur tidak lebih besar dari kekuatan desain minimum angkur yang ditentukan dalam 17.2.3. (lihat 17.2.3.4.3 dan 17.2.3.5.3).

Meskipun faktor-ϕ untuk beton polos struktural adalah 0,60, faktor dasar untuk kegagalan beton getas (ϕ = **0,70**) dipilih berdasarkan hasil studi probabilistik (Farrow dan Klingner 1995) yang menunjukkan penggunaan faktor-ϕ untuk beton polos struktural dengan nilai rata-rata dari kegagalan beton terkontrol menghasilkan tingkat keamanan yang memadai. Karena ekspresi tahanan nominal yang digunakan dalam pasal ini dan dalam persyaratan pengujian didasarkan pada fraktil 5 persen, nilai ϕ **= 0,60** akan menjadi terlalu konservatif. Perbandingan dengan prosedur desain dan studi probabilistik lain (Farrow dan Klingner 1995) menunjukkan bahwa pilihan ϕ **= 0,70** dibenarkan. Pemasangan tulangan tambahan (Kondisi A) menyediakan lebih banyak kapasitas deformasi, memungkinkan faktor-ϕ untuk ditingkatkan. Nilai ϕ **= 0,75** kompatibel dengan tingkat keamanan untuk kegagalan geser pada balok beton, dan telah direkomendasikan dalam *PCI Design handbook* (MNL 120) dan oleh ACI 349.

Untuk angkur yang ditentukan oleh kegagalan jebol beton yang lebih getas atau kegagalan ambrol, dua kondisi diakui. Jika ada tulangan tambahan (Kondisi A), kapasitas deformasi menjadi lebih besar daripada dalam kasus di mana tulangan tambahan tersebut tidak ada (Kondisi B). Desain eksplisit tulangan tambahan tidak diperlukan. Namun, pengaturan tulangan tambahan umumnya harus sesuai dengan tulangan angkur yang ditunjukkan pada Gambar R17.4.2.9 dan R17.5.2.9b. Penyaluran penuh tidak diperlukan.

Faktor reduksi kekuatan untuk tulangan angkur diberikan dalam 17.4.2.9 dan 17.5.2.9.

Pengujian ACI 355.2 untuk sensitivitas terhadap prosedur instalasi menentukan kategori keandalan yang sesuai untuk angkur ekspansi tertentu atau angkur ujung diperlebar. Dalam ACI 355.2 pengujian untuk angkur ekspansi dan angkur ujung diperlebar, efek variabilitas dalam torsi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	angkur selama pemasangan, toleransi pada ukuran lubang yang dibor, dan tingkat energi yang digunakan dalam pengaturan angkur dipertimbangkan; untuk angkur ekspansi dan angkur ujung diperlebar yang disetujui untuk digunakan pada beton retak, peningkatan lebar retak dipertimbangkan. Pengujian ACI 355.4 untuk sensitivitas terhadap prosedur pemasangan menentukan kategori untuk sistem angkur adhesif tertentu dengan mempertimbangkan pengaruh pencampuran bahan adhesif dan pengaruh pembersihan lubang pada lubang bor untuk kering, jenuh, dan berisi air/dalam air. Tiga kategori angkur tanam pascacor yang dapat diterima adalah: **Kategori 1** – sensitivitas rendah terhadap instalasi dan keandalan tinggi **Kategori 2** – sensitivitas sedang terhadap instalasi dan keandalan sedang **Kategori 3** – sensitivitas tinggi terhadap instalasi dan keandalan yang lebih rendah Kekuatan angkur akibat beban geser tidak sensitif terhadap kesalahan dan toleransi pemasangan. Oleh karena itu, untuk perhitungan geser semua angkur, ϕ **= 0,75** untuk Kondisi A dan ϕ **= 0,70** untuk Kondisi B.
17.4 - Persyaratan desain untuk pembebanan tarik	**R17.4 - Persyaratan desain untuk pembebanan tarik**
17.4.1 *Kekuatan baja angkur dalam tarik*	**R17.4.1** *Kekuatan baja angkur dalam tarik*
17.4.1.1 Kekuatan nominal angkur dalam tarik seperti yang dikendalikan oleh baja, N_{sa}, harus dievaluasi dengan perhitungan berdasarkan pada properti bahan angkur dan dimensi fisik angkur.	
17.4.1.2 Kekuatan nominal angkur dalam tarik, N_{sa}, tidak boleh melebihi $N_{sa} = A_{se,N} f_{uta}$ (17.4.1.2) dimana $A_{se,N}$ adalah luas penampang efektif angkur dalam tarik, mm^2, dan f_{uta} tidak boleh diambil lebih besar dari yang terkecil dari $1{,}9f_{ya}$ dan 860 MPa.	**R17.4.1.2** Kekuatan nominal angkur baja dalam keadaan tarik paling baik direpresentasikan sebagai fungsi f_{uta} daripada f_{ya} karena sebagian besar bahan angkur tidak menunjukkan titik leleh yang jelas. AISC telah mendasarkan kekuatan tarik angkur pada $A_{se,N}f_{uta}$ sejak edisi tahun 1986 dari spesifikasinya. Penggunaan Pers. (17.4.1.2) dengan faktor beban dalam 5.3 dan faktor-ϕ dalam 17.3.3 memberikan kekuatan desain yang konsisten dengan AISC 360.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Pembatasan $1{,}9f_{ya}$ pada f_{uta} adalah untuk memastikan bahwa, dalam kondisi beban layan, angkur tidak melebihi f_{ya}. Batas f_{uta} yaitu $1{,}9f_{ya}$ ditentukan dengan mengubah ketentuan-ketentuan LRFD ke kondisi tingkat layan yang sesuai. Untuk 5.3, faktor beban rata-rata 1,4 (dari **1,2D + 1,6L**) dibagi dengan faktor-ϕ tertinggi (0,75 untuk tarik) menghasilkan batas dari f_{uta}/f_{ya} adalah 1,4/0,75 = 1,87. Meskipun bukan menjadi perhatian untuk standar angkur baja struktural (nilai maksimum f_{uta}/f_{ya} adalah 1,6 untuk ASTM A307), batasan ini berlaku untuk beberapa baja *stainless*. Untuk angkur tanam pascacor yang memiliki reduksi luas penampang di bagian manapun sepanjang angkur, seperti angkur tipe baji (*wedge-type anchors*), luas penampang efektif angkur harus diberikan oleh fabrikan. Untuk batang berdrat dan baut berkepala, ASME B1.1 mendefinisikan $A_{se,N}$ sebagai $$A_{se,N} = \frac{\pi}{4}\left(d_a - \frac{0{,}9743}{n_t}\right)^2$$ dimana n_t adalah jumlah drat per millimeter.
17.4.2 *Kekuatan jebol (breakout) beton angkur dalam tarik*	**R17.4.2** *Kekuatan jebol (breakout) beton angkur dalam tarik*
17.4.2.1 Kekuatan nominal jebol beton dalam tarik, N_{cb} untuk angkur tunggal atau N_{cbg} untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi : a) Untuk angkur tunggal $$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}\Psi_{ed,N}\Psi_{c,N}\Psi_{cp,N}N_b \quad (17.4.2.1a)$$ b) Untuk kelompok angkur $$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}}\Psi_{ec,N}\Psi_{ed,N}\Psi_{c,N}\Psi_{cp,N}N_b \quad (17.4.2.1b)$$ Faktor-faktor $\psi_{ec,N}$, $\psi_{ed,N}$, $\psi_{c,N}$, and $\psi_{cp,N}$ didefinisikan berturut-turut dalam 17.4.2.4, 17.4.2.5, 17.4.2.6, dan 17.4.2.7. A_{Nc} adalah luas kegagalan beton terproyeksi angkur tunggal atau kelompok angkur yang harus diperkirakan sebagai dasar gambar	**R17.4.2.1** Pengaruh angkur majemuk, spasi angkur, dan jarak ke tepi pada kekuatan nominal jebol beton dalam tarik disertakan dengan menerapkan faktor modifikasi A_{Nc}/A_{Nco} dan, $\psi_{ed,N}$ dalam Pers. (17.4.2.1a) dan (17.4.2.1b). Gambar R17.4.2.1(a) menunjukkan A_{Nco} dan pengembangan Pers. (17.4.2.1c). A_{Nco} adalah area proyeksi maksimum untuk angkur tunggal. Gambar R17.4.2.1(b) menunjukkan contoh-contoh daerah yang terproyeksi untuk berbagai pengaturan pada angkur tunggal dan angkur majemuk. Karena A_{Nc} adalah total area yang terproyeksi untuk sekelompok angkur, dan A_{Nco} adalah area untuk angkur tunggal, tidak perlu menyertakan n, jumlah angkur, dalam Pers. (17.4.2.1a) atau (17.4.2.1b). Jika angkur majemuk diposisikan sedemikian rupa sehingga area proyeksi nya tumpang tindih, maka, nilai A_{Nc} harus dikurangi.

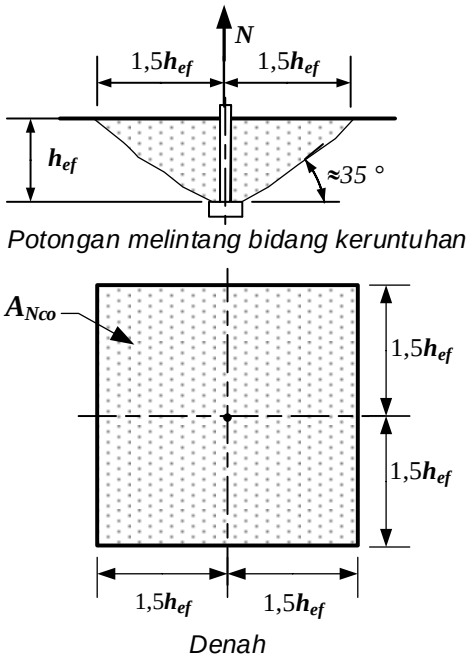
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

geometri persegi yang dihasilkan dari proyeksi permukaan kegagalan ke arah luar $1{,}5h_{ef}$ dari garis pusat angkur, atau dalam kasus kelompok angkur, dari garis melalui suatu baris angkur yang bersebelahan. A_{Nc} tidak boleh melebihi nA_{Nco}, dimana n adalah jumlah angkur dalam kelompok yang menahan tarik. A_{Nco} adalah luas kegagalan beton terproyeksi angkur tunggal dengan jarak tepi sama atau lebih besar dari $1{,}5h_{ef}$.

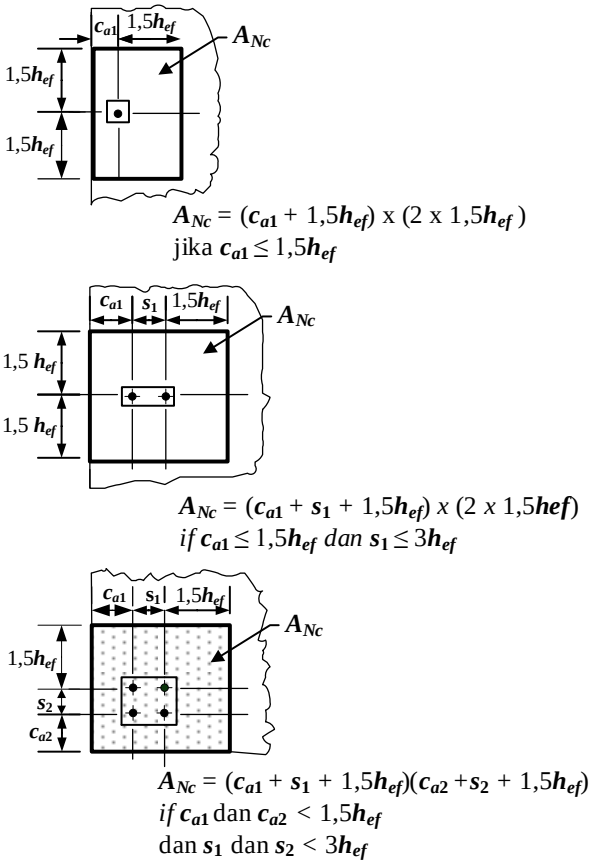
$$A_{nco} = 9h_{ef}^{\,2} \qquad (17.4.2.1c)$$

Jarak kritis ke ujung untuk *headed studs, headed bolts, expasion anchors* dan *undercut anchors* adalah $1{,}5h_{ef}$



$A_{Nco} = (2 \text{ x } 1{,}5h_{ef}) \text{ x } (2 \text{ x } 1{,}5h_{ef}) = 9h_{ef}2$

(a)



(b)

Gambar R17.4.2.1 – (a) Perhitungan A_{Nco} dan (b) perhitungan A_{Nc} untuk satu angkur dan kelompok angkur

17.4.2.2 Kekuatan dasar jebol beton angkur tunggal dalam tarik pada beton retak, N_b, tidak boleh melebihi

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_c'}\, h_{ef}^{\,1,5} \qquad (17.4.2.2)$$

dimana

k_c = **10** untuk angkur tanam cor ditempat; dan

R17.4.2.2 Persamaan untuk kekuatan dasar jebol beton diturunkan (Fuchs et al. 1995; Eligehausen dan Balogh 1995; Eligehausen dan Fuchs 1988; CEB 1994) dengan asumsi sebuah kegagalan beton prisma dengan sudut sekitar 35 derajat, mempertimbangkan konsep mekanika fraktur.

Nilai-nilai k_c dalam Pers. (17.4.2.2a) ditentukan dari database yang besar hasil

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

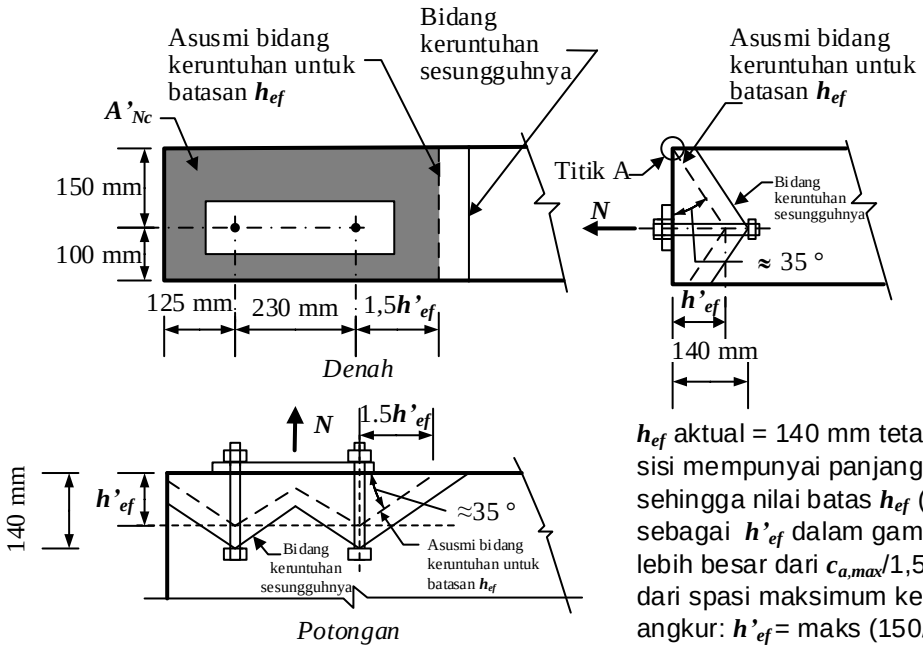
STANDAR	PENJELASAN
k_c = 7 untuk angkur tanam pascacor. Nilai k_c untuk angkur tanam pascacor diizinkan untuk ditingkatkan di atas 17 berdasarkan pada uji spesifik produk ACI 355.2 atau ACI 355.4, tetapi tidak boleh melebihi 24. Sebagai alternatif, untuk *stud* berkepala dan baut berkepala yang dicor ditempat dengan $\mathbf{280\ mm \le h_{ef} \le 635\ mm}$, N_b tidak boleh melebihi $N_b = 3{,}9\lambda_a\sqrt{f_c'}\,h_{ef}^{5/3}$ (17.4.2.2b)	pengujian pada beton tidak retak (Fuchs et al. 1995) pada fraktil 5 persen. Nilai-nilai itu disesuaikan dengan nilai k_c yang sesuai untuk beton retak (Eligehausen dan Balogh 1995; Goto 1971). Pengujian telah menunjukkan bahwa nilai k_c berlaku untuk angkur adhesif yang kurang lebih sama dengan yang diperoleh untuk angkur ekspansi (Eligehausen et al. 2006a; Zhang et al. 2001). Nilai k_c yg lebih tinggi diizinkan untuk angkur tanam pascacor, asalkan nilai tersebut telah ditentukan dari pengujian sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4. Untuk angkur dengan panjang pengangkuran yang lebih dalam $\mathbf{(h_{ef} > 280\ mm)}$, bukti uji menunjukkan penggunaan $h_{ef}^{1,5}$ bisa menjadi terlalu konservatif untuk beberapa kasus. Ekspresi alternatif (Pers. (17.4.2.2b)) disediakan dengan menggunakan $h_{ef}^{5/3}$ untuk evaluasi *stud* berkepala dan baut berkepala yang dicor di tempat dengan $\mathbf{280\ mm \le h_{ef} \le 635\ mm}$. Ekspresi ini juga cocok untuk beberapa angkur ujung diperlebar pascacor. Namun, untuk angkur seperti itu, penggunaan Pers. (17.4.2.2b) harus dibuktikan oleh hasil pengujian sesuai dengan 17.3.2. Hasil investigasi eksperimental dan numerik menunjukkan bahwa Pers. (17.4.2.2b) mungkin tidak konservatif untuk $\mathbf{h_{ef} > 635\ mm}$ dimana tekanan tumpu pada kepala angkur berada di atau dekat dengan batas yang diizinkan oleh Pers. (17.4.3.4) (Ožbolt et al. 2007).
17.4.2.3 Bila angkur terletak kurang dari $\mathbf{1{,}5}h_{ef}$ dari tiga tepi atau lebih, nilai h_{ef} yang digunakan untuk perhitungan A_{Nc} sesuai dengan 17.4.2.1, demikian juga dalam Pers. (17.4.2.1) hingga (17.4.2.5) harus yang terbesar dari $(c_{a,\max})/1{,}5$ dan $s/3$, dimana s adalah spasi maksimum antara angkur dalam kelompok angkur.	**R17.4.2.3** Untuk angkur yang terletak kurang dari $\mathbf{1{,}5}h_{ef}$ dari tiga tepi atau lebih, kekuatan tarik jebol dapat dihitung dengan Metode CCD (lihat R17.3.2), yang merupakan dasar untuk persamaan dalam 17.4.2.1 hingga 17.4.2.5, memberikan hasil yang terlalu konservatif (Lutz 1995). Ini terjadi karena definisi awal A_{Nc}/A_{Nco} tidak menggambarkan efek tepi. Masalah ini dikoreksi dengan membatasi nilai h_{ef} yang digunakan dalam persamaan dalam 17.4.2.1 hingga 17.4.2.5 hingga $(c_{a,max})/1{,}5$, di mana $c_{a,max}$ adalah yang terbesar dari pengaruh jarak tepi yang kurang dari atau sama dengan $\mathbf{1{,}5}h_{ef}$ aktual. Dalam kasus $(c_{a,max})/1{,}5$ tidak harus diambil kurang dari sepertiga jarak maksimum antar angkur dalam kelompok angkur. Batas h_{ef}

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	setidaknya sepertiga jarak maksimum spasi antar angkur dalam kelompok angkur untuk mencegah penggunaan kekuatan yang dihitung berdasarkan jebol prisma individu untuk konfigurasi kelompok angkur. Pendekatan ini diilustrasikan pada Gambar. R17.4.2.3. Dalam contoh ini, batas yang diusulkan pada nilai h_{ef} yang akan digunakan dalam perhitungan dimana, $h_{ef} = (c_{a,max})/1{,}5$, menghasilkan $h_{ef} = h'_{ef} = 100$ mm. Untuk contoh ini, ini akan menjadi nilai yang tepat untuk digunakan dalam perhitungan tahanan bahkan jika kedalaman penanaman sebenarnya lebih besar. Persyaratan 17.4.2.3 dapat divisualisasikan dengan memindahkan permukaan jebol beton yang sebenarnya, yang berasal dari h_{ef} aktual, menuju permukaan beton yang paralel dengan beban tarik yang diterapkan. Nilai h_{ef} yang digunakan dalam persamaan di 17.4.2.1 hingga 17.4.2.5 ditentukan ketika: (a) batas luar dari kegagalan permukaan yang pertama kali memotong tepi bebas; atau (b) perpotongan permukaan jebol antar angkur dalam kelompok yang pertama kali memotong permukaan beton. Untuk contoh yang ditunjukkan pada Gambar R17.4.2.3, Titik A mendefinisikan perpotongan dari asumsi permukaan runtuh untuk membatasi h_{ef} dengan permukaan beton.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN



h_{ef} aktual = 140 mm tetapi tiga sisi mempunyai panjang ≤ 1.5h_{ef} sehingga nilai batas h_{ef} (Terlihat sebagai h'_{ef} dalam gambar) lebih besar dari $c_{a,max}$/1,5 dan 1/3 dari spasi maksimum kelompok angkur: h'_{ef} = maks (150/1,5, 230/3) = 100 mm
Sehingga, gunakan h_{ef} = 100 mm untuk nilai h_{ef} pada persamaan 17.4.2.1 hingga 17.4.2.5 termasuk perhitungan A'_{Nc}:
A'_{Nc} = (150+100)(125+230+[1.5 x 100]) = 126,250 mm^2
Titik A menunjukkan perpotongan dari permukaan asumsi Bidang keruntuhan untuk membatasi h_{ef} dengan permukaan beton

Gambar R17.4.2.3 – Contoh kondisi tarik dimana angkur berada pada komponen yang sempit

17.4.2.4 Faktor modifikasi untuk kelompok angkur yang dibebani secara eksentris dalam tarik, $\psi_{ec,N}$, harus dihitung sebagai

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \qquad (17.4.2.4)$$

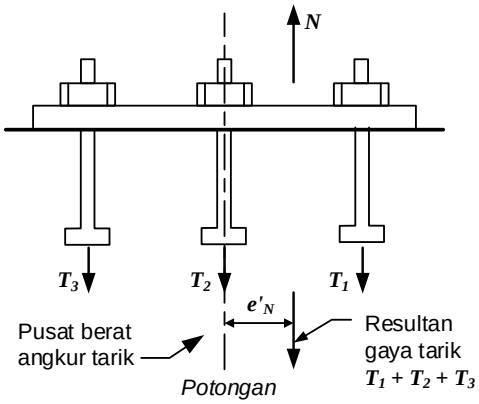
tetapi $\psi_{ec,N}$ tidak boleh diambil lebih besar dari 1,0. Jika pembebanan pada kelompok angkur sedemikian hingga hanya beberapa angkur berada dalam kondisi tarik, hanya angkur tersebut yang berada dalam kondisi tarik yang harus ditinjau ketika menentukan eksentrisitas e'_N untuk penggunaan Pers. (17.4.2.4) dan untuk perhitungan N_{cbg} menurut Pers. (17.4.2.1b).

R17.4.2.4 Gambar R17.4.2.4(a) menunjukkan sekelompok angkur yang semuanya dalam keadaan tarik tetapi resultan gaya adalah eksentris terhadap pusat kelompok angkur. Kelompok angkur juga dapat dibebani sedemikian rupa sehingga hanya beberapa angkur yang mengalami tarik (Gambar R17.4.2.4(b)). Dalam hal ini, hanya angkur dalam keadaan tarik yang harus dipertimbangkan dalam penentuan e'_N. Pembebanan angkur harus ditentukan sebagai resultan angkur tarik dengan eksentrisitas terhadap pusat gravitasi angkur dalam tarik.

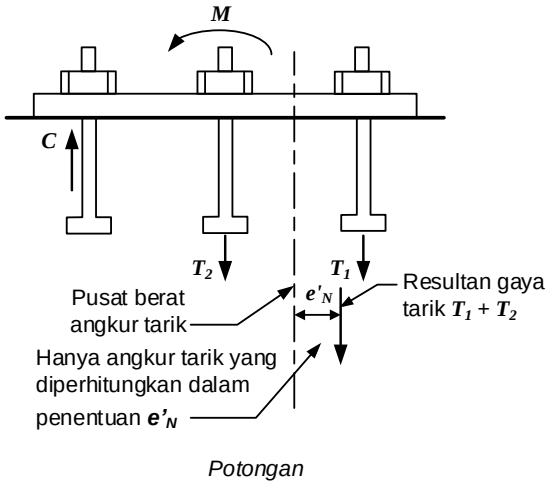
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

Dalam kasus dimana pembeban eksentris terjadi terhadap dua sumbu, faktor modifikasi, $\psi_{ec,N}$, harus dihitung untuk setiap sumbu secara individu dan produk faktor-faktor ini yang digunakan sebagai $\psi_{ec,N}$ dalam Pers. (17.4.2.1b).



(a) Kondisi dengan semua angkur menderita tegangan tarik



(b) Tidak semua angkur menderita tegangan tarik

Gambar R17.4.2.4 – Pengertian e'_N untuk kelompok angkur

17.4.2.5 Faktor modifikasi pengaruh tepi untuk angkur tunggal atau kelompok angkur yang dibebani dalam tarik, $\psi_{ed,N}$, harus dihitung sebagai

Jika $c_{a,\min} \geq 1{,}5h_{ef}$ maka $\psi_{ed,N} = 1{,}0$ (17.4.2.5a)

Jika $c_{a,\min} < 1{,}5h_{ef}$ maka $\psi_{ed,N} = 0{,}7 + 0{,}3\dfrac{c_{a,\min}}{1{,}5h_{ef}}$ (17.4.2.5b)

R17.4.2.5 Jika angkur ditempatkan dekat dengan tepi sehingga tidak ada cukup ruang untuk membentuk prisma yang jebol sempurna, kekuatan angkur kemudian tereduksi lebih dari yang tercermin dalam A_{Nc}/A_{Nco}. Jika jarak terkecil sisi selimut lebih besar dari atau sama dengan $1{,}5h_{ef}$, prisma yang sempurna dapat terbentuk dan tidak ada reduksi ($\psi_{ed,N} = 1$). Jika selimut samping kurang dari $1{,}5h_{ef}$, faktor $\psi_{ed,N}$ diperlukan untuk menyesuaikan pengaruh tepi (Fuchs et al. 1995).

17.4.2.6 Untuk angkur yang terletak dalam daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan tidak ada retak pada tingkat beban layan, faktor modifikasi berikut diizinkan:

a) $\psi_{c,N} = 1{,}25$ untuk angkur tanam cor ditempat; dan
b) $\psi_{c,N} = 1{,}4$ untuk angkur tanam pascacor, dimana nilai k_c yang digunakan dalam Pers. (17.4.2.2a) adalah 17.

Bila nilai k_c yang digunakan dalam Pers. (17.4.2.2a) diambil dari laporan evaluasi produk ACI 355.2 atau ACI 355.4 untuk

R17.4.2.6 Angkur tanam pascacor yang belum memenuhi persyaratan untuk digunakan pada beton retak sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4 harus digunakan hanya pada daerah yang tetap tidak retak. Analisis dalam penentuan pembentukan retak harus memeprhitungkan pengaruh susut terkekang (lihat 24.4.2). Uji kualifikasi angkur ACI 355.2 atau ACI 355.4 mengharuskan bahwa angkur dalam zona beton retak bekerja dengan baik dalam retak yang lebarnya 0,3 mm. Jika diperkirakan retak yang lebih lebar, harus

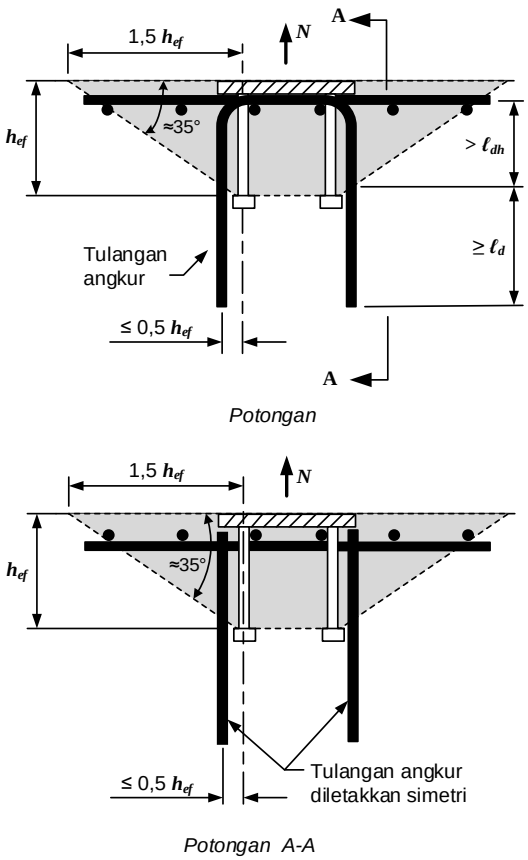
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
angkur tanam pascacor yang terkualifikasi untuk penggunaan baik pada beton retak dan tak retak, nilai k_c dan $\psi_{c,N}$ harus didasarkan pada laporan evaluasi produk ACI 355.2 atau ACI 355.4. Bila nilai k_c yang digunakan dalam Pers. (17.4.2.2a) diambil dari laporan evaluasi produk ACI 355.2 atau ACI 355.4 untuk angkur tanam pascacor yang terkualifikasi untuk penggunaan pada beton tak retak, $\psi_{c,N}$ harus diambil sebesar 1,0. Bila analisis menunjukkan retak pada tingkat beban layan, $\psi_{c,N}$ harus diambil sebesar 1,0 untuk kedua angkur tanam cor ditempat dan angkur tanam pascacor. Angkur tanam pascacor harus terkualifikasi untuk penggunaan pada beton retak sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4. Retak pada beton harus dikendalikan dengan tulangan lentur yang didistribusikan sesuai dengan 24.3.2, atau kontrol retak ekuivalen harus disediakan oleh tulangan pengekang.	disediakan tulangan pengekang untuk mengontrol lebar retak sekitar 0,3 mm. Kekuatan jebol beton yang diberikan oleh Pers. (17.4.2.2a) dan (17.4.2.2b) mengasumsikan beton retak (yaitu, $\psi_{c,N}$ = **1,0**) dengan $\psi_{c,N} k_c$ = **24** untuk angkur tanam cor ditempat, dan 17 untuk angkur tanam pascacor. Ketika beton tidak retak faktor $\psi_{c,N}$ diterapkan (1,25 untuk angkur tanam cor ditempat, dan 1,4 untuk angkur tanam pascacor), hasilnya faktor $\psi_{c,N} k_c$ adalah 30 untuk angkur tanam cor ditempat dan 24 untuk angkur tanam pascacor. Hal ini sesuai dengan observasi lapangan dan pengujian yang menunjukkan kekuatan angkur yang dicor ditempat melebihi kekuatan angkur tanam pascacor yang terpasang pada beton yang retak maupun tidak retak.
17.4.2.7 Faktor modifikasi untuk angkur tanam pascacor yang didesain untuk beton tak retak sesuai dengan 17.4.2.6 tanpa tulangan tambahan untuk mengontrol pembelahan beton, $\psi_{cp,N}$, harus dihitung sebagai berikut menggunakan jarak kritis c_{ac} seperti didefinisikan dalam 17.7.6 Jika $c_{a,min} \geq c_{ac}$ maka $\psi_{cp,N} = 1{,}0$ (17.4.2.7a) Jika $c_{a,min} < c_{ac}$ maka $\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}}$ (17.4.2.7b) tetapi $\psi_{cp,N}$ yang ditentukan oleh Pers. (17.4.2.7b) tidak boleh diambil kurang dari $1{,}5h_{ef}/c_{ac}$, dimana jarak kritis c_{ac} didefinisikan dalam 17.7.6. Untuk semua kasus lainnya, termasuk angkur tanam cor ditempat, $\psi_{cp,N}$ harus diambil sebesar 1,0.	**R17.4.2.7** Ketentuan desain pada 17,4 didasarkan pada asumsi bahwa kekuatan dasar jebol beton dapat dipenuhi jika jarak minimum $c_{a,min}$ sama dengan $1{,}5h_{ef}$. Hasil uji (Asmus 1999), bagaimanapun, menunjukkan bahwa banyak angkur ekspansi terkontrol-torsi *(toque-controlled)* dan terkontrol-perpindahan *(Displacement-controlled)* dan beberapa angkur ujung diperlebar membutuhkan jarak tepi minimum melebihi $1{,}5h_{ef}$ untuk mencapai kekuatan dasar jebol beton ketika diuji pada beton tidak retak tanpa tulangan tambahan untuk mengontrol pembelahan. Ketika beban tarik diterapkan, tegangan tarik yang dihasilkan pada ujung angkur yang tertanam ditambahkan ke tegangan tarik yang disebabkan karena instalasi angkur, dan kegagalan belah (*splitting*) dapat terjadi sebelum mencapai kekuatan jebol beton yang didefinisikan dalam 17.4.2.1. Untuk memperhitungkan potensi kegagalan belah (, kekuatan jebol beton dasar direduksi oleh faktor $\psi_{cp,N}$ jika $c_{a,min}$ kurang dari jarak tepi kritis c_{ac}. Jika terdapat tulangan tambahan untuk mengontrol pembelahan atau jika angkur berada di daerah dimana analisis menunjukkan retak terjadi saat beban layan, maka faktor reduksi $\psi_{cp,N}$ diambil sebagai 1,0. Terpasangnya tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tambahan untuk mengontrol pembelahan tidak mempengaruhi pemilihan kondisi A atau B di 17.3.3.
17.4.2.8 Bila pelat tambahan atau ring (*washer*) ditambahkan pada kepala angkur, diizinkan untuk menghitung luas terproyeksi permukaan kegagalan dengan memproyeksikan permukaan kegagalan ke arah luar $1{,}5h_{ef}$ dari keliling efektif pelat atau ring. Keliling efektif tidak boleh melebihi nilai pada penampang yang terproyeksi ke arah luar lebih dari tebal ring atau pelat dari tepi luar kepala angkur.	
17.4.2.9 Bila tulangan angkur disalurkan sesuai dengan Pasal 25 pada kedua sisi permukaan yang jebol, kekuatan desain tulangan angkur diizinkan untuk digunakan sebagai pengganti dari kekuatan jebol beton dalam menentukan ϕN_n. Faktor reduksi kekuatan sebesar 0,75 harus digunakan dalam desain tulangan angkur.	**R17.4.2.9** Untuk kondisi-kondisi dimana gaya tarik terfaktor melebihi kekuatan jebol beton angkur atau dimana kekuatan jebol tidak dievaluasi, kekuatan nominal dapat berupa tulangan angkur yang benar-benar terangkur, seperti yang diilustrasikan pada gambar. R17.4.2.9. Dalam pemilihan dan penentuan posisi tulangan angkur harus diperhatikan dengan baik. Tulangan angkur harus terdiri dari sengkang, sengkang ikat, atau *hairpins* yang ditempatkan sedekat mungkin dengan angkur. Hanya tulangan yang berjarak kurang dari $0{,}5h_{ef}$ dari garis tengah angkur harus dimasukkan sebagai tulangan tambatan. Penelitian (Eligehausen et al. 2006b) dimana ketentuan ini didasarkan terbatas pada tulangan angkur dengan diameter bar maksimum D16. Ini bermanfaat untuk tulangan angkur untuk menutup permukaan tulangan. Dalam menentukan ukuran tulangan angkur, penggunaan faktor reduksi kekuatan 0,75 sebagaimana direkomendasikan pada penggunaan model *strut-and-tie*. Secara praktis, penggunaan tulangan angkur umumnya terbatas hanya pada angkur tanam cor ditempat.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R17.4.2.9 – Tulangan angkur dalam tarik**
17.4.3 *Kekuatan cabut (pullout) angkur tanam cor ditempat, angkur ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar dalam tarik*	**R17.4.3** *Kekuatan cabut (pullout) angkur tanam cor ditempat, angkur ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar dalam tarik*
17.4.3.1 Kekuatan cabut nominal angkur tunggal cor ditempat, angkur ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar pascacor dalam kondisi tarik, N_{pn}, tidak boleh melebihi $N_{pn} = \psi_{c,p} N_p$ (17.4.3.1) Dimana $\psi_{c,P}$ ditentukan dalam 17.4.3.6.	**R17.4.3.1** Persyaratan desain untuk cabut berlaku untuk angkur tanam cor ditempat, angkur ekspansi pascacor dan angkur ujung diperlebar pascacor. Persyaratan tersebut tidak berlaku untuk angkur adhesif, dimana dievaluasi untuk kegagalan lekatannya sesuai dengan 17.4.5.
17.4.3.2 Untuk angkur ekspansi dan ujung diperlebar pascacor, nilai N_p harus didasarkan pada fraktil 5 persen hasil uji yang diadakan dan dievaluasi menurut ACI 355.2. Tidak diizinkan untuk menghitung kekuatan cabut dalam kondisi tarik untuk angkur tersebut.	**R17.4.3.2** Persamaan kekuatan cabut yang diberikan dalam 17.4.3.4 dan 17.4.3.5 hanya berlaku untuk angkur-angkur berkepala dan angkur kait yang dicor ditempat (CEB 1997; Kuhn dan Shaikh 1996); persamaan tersebut tidak berlaku untuk angkur ekspansi dan angkur ujung diperlebar yang menggunakan berbagai mekanisme pengangkuran ujung kecuali

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	validitas persamaan kekuatan cabut nya telah diverifikasi oleh pengujian.
17.4.3.3 Untuk *stud* berkepala dan baut berkepala tunggal dicor di tempat, diizinkan untuk mengevaluasi kekuatan cabut dalam kondisi tarik menggunakan 17.4.3.4. Untuk baut J atau L tunggal, diizinkan untuk mengevaluasi kekuatan cabut dalam kondisi tarik menggunakan 17.4.3.5. Sebagai alternatif, diizinkan untuk menggunakan nilai N_p berdasarkan pada fraktil 5 persen dari uji yang diadakan dan dievaluasi dengan cara yang sama seperti prosedur ACI 355.2 tetapi tanpa mengandalkan friksi.	**R17.4.3.3** Kekuatan cabut dalam keadaan tarik pada *stud* berkepala atau baut berkepala dapat ditingkatkan dengan memberikan tulangan pengekang, seperti spiral dengan spasi rapat, di seluruh daerah kepala. Peningkatan kekuatan ini dapat ditunjukkan dengan pengujian.
17.4.3.4 Kekuatan cabut dalam tarik untuk *stud* berkepala atau baut berkepala tunggal, N_p, untuk penggunaan dalam Pers. (17.4.3.1), tidak boleh melebihi $N_p = 8A_{brg}f_c'$ (17.4.3.4)	**R17.4.3.4** Nilai yang dihitung dari Pers. (17.4.3.4) sesuai dengan beban yang mana hancurnya beton terjadi karena tumpuan dari kepala angkur (CEB 1997; ACI 349). Bukan beban yang diperlukan untuk menarik angkur keluar sepenuhnya dari beton, sehingga persamaan tersebut tidak mengandung istilah yang berkaitan dengan kedalaman penanaman. Kehancuran lokal beton dapat sangat mereduksi kekakuan sambungan, dan umumnya akan menjadi awal dari kegagalan cabut.
17.4.3.5 Kekuatan cabut dalam kondisi tarik untuk baut berkait tunggal, N_p, untuk penggunaan dalam Pers. (17.4.3.1) harus melebihi $N_p = 0{,}9f_c'e_hd_a$ (17.4.3.5) Dimana $3d_a \le e_h \le 4{,}5d_a$.	**R17.4.3.5** Pers. (17.4.3.5) untuk baut kait dikembangkan oleh Lutz berdasarkan hasil penelitian Kuhn dan Shaikh (1996). Kekuatannya hanya mengandalkan pada komponen tumpuan, mengabaikan komponen friksi karena hancurnya beton bagian dalam kait dapat sangat mereduksi kekakuan sambungan dan umumnya akan menjadi awal dari kegagalan cabut. Batasan-batasan pada e_h didasarkan pada berbagai variabel yang digunakan dalam tiga program uji yang dilaporkan dalam Kuhn dan Shaikh (1996).
17.4.3.6 Untuk angkur yang terletak dalam daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan tidak ada retak pada tingkat beban layan, faktor modifikasi berikut diizinkan $\psi_{c,P} = 1{,}4$ Dimana analisis menunjukkan retak pada tingkat beban layan, $\psi_{c,P}$ harus diambil	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sebesar 1,0.	
17.4.4 *Kekuatan ambrol (blowout) muka samping beton untuk angkur berkepala dalam Tarik*	**R17.4.4** *Kekuatan ambrol (blowout) muka samping beton untuk angkur berkepala dalam tarik*–Persyaratan desain untuk ambrol sisi samping didasarkan pada rekomendasi Furche dan Eligehausen (1991). Persyaratan ini berlaku untuk angkur berkepala yang umumnya dicor di tempat. Pembelahan beton selama pemasangan angkur pada umumnya lebih menentukan daripada ambrol sisi samping (*blowout side-face*) untuk angkur tanam pascacor, dan dievaluasi oleh persyaratan ACI 355.2.
17.4.4.1 Untuk angkur berkepala tunggal dengan kedalaman penanaman dekat dengan tepi ($h_{ef} > 2{,}5c_{a1}$), kekuatan ambrol muka samping nominal, N_{sb}, tidak boleh melebihi $N_{sb} = (13c_{a1}\sqrt{A_{brg}})\lambda_a\sqrt{f_c'}$ (17.4.4.1) Jika c_{a2} untuk angkur berkepala tunggal kurang dari $3c_{a1}$, nilai N_{sb} harus dikalikan dengan faktor $(1 + c_{a2}/c_{a1})/4$ dimana $1{,}0 \le c_{a2}/c_{a1} \le 3{,}0$.	
17.4.4.2 Untuk angkur berkepala majemuk dengan penanaman dalam dekat dengan tepi ($h_{ef} > 2{,}5c_{a1}$) dan spasi angkur kurang dari $6c_{a1}$, kekuatan nominal angkur tersebut yang rentan terhadap kegagalan ambrol muka samping N_{sbg} tidak boleh melebihi $N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb}$ (17.4.4.2) dimana s adalah jarak antara angkur terluar sepanjang tepi, dan N_{sb} diperoleh dari Pers. (17.4.4.1) tanpa modifikasi untuk jarak tepi yang tegak lurus.	**R17.4.4.2** Dalam menentukan kekuatan nominal terhadap ambrol muka samping untuk angkur berkepala majemuk, hanya angkur yang dekat dengan tepi ($h_{ef} > 2{,}5c_{a1}$) yang mengalami tarik harus dipertimbangkan. Kekuatan tersebut harus dibandingkan dengan proporsi beban tarik yang terjadi pada angkur tersebut.
17.4.5 *Kekuatan lekatan angkur adhesif dalam Tarik*	**R17.4.5** *Kekuatan lekatan angkur adhesif dalam tarik*
17.4.5.1 Kekuatan lekatan nominal dalam kondisi tarik, N_a untuk angkur adhesif tunggal atau N_{ag} untuk kelompok angkur adhesif, tidak boleh melebihi a) Untuk angkur adhesif tunggal: $N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \Psi_{ed,Na}\Psi_{cp,Na}N_{ba}$ (17.4.5.1a) b) Untuk kelompok angkur adhesif: $N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} \Psi_{ec,Na}\Psi_{ed,Na}\Psi_{cp,Na}N_{ba}$ (17.4.5.1b) Faktor-faktor $\psi_{ec,Na}$, $\psi_{ed,Na}$, dan $\psi_{cp,Na}$ didefinisikan masing-masing dalam	**R17.4.5.1** Evaluasi kekuatan lekatan hanya berlaku pada angkur adhesif. Satu angkur dengan panjang penanaman kecil dibebani hingga mengalami kegagalan tarik menunjukkan kemungkinan gagal terhadap jebol beton, sementara Panjang penanaman yang lebih dalam dapat menghasilkan kegagalan lekatan. Angkur adhesif yang menunjukkan kegagalan lekatan ketika dibebani secara individu dapat menunjukkan kegagalan beton ketika dalam bentuk kelompok atau dalam kondisi dekat tepi. Dalam semua kasus, kekuatan tarik angkur adhesif dibatasi oleh kekuatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

17.4.5.3, 17.4.5.4, dan 17.4.5.5. A_{Na} adalah luas pengaruh terproyeksi dari angkur adhesif tunggal atau kelompok angkur adhesif yang harus didekati sebagai luas persegi yang memproyeksi ke arah luar sejarak c_{Na} dari garis pusat angkur adhesif, atau dalam kasus kelompok angkur adhesif, dari garis yang melalui baris angkur adhesif yang berdekatan. A_{Na} tidak boleh melebihi nA_{Nao}, dimana n adalah jumlah angkur adhesif dalam kelompok angkur yang menahan beban tarik. A_{Nao} adalah luas pengaruh terproyeksi dari angkur adhesif tunggal dengan jarak tepi sama dengan atau lebih besar dari c_{Na}:

$$A_{Nao} = (2c_{Na})^2 \qquad (17.4.5.1c)$$

dimana

$$C_{Na} = 10d_a\sqrt{\frac{\tau_{uncr}}{7{,}6}} \qquad (17.4.5.1d)$$

dan konstanta 7,6 mempunyai satuan MPa.

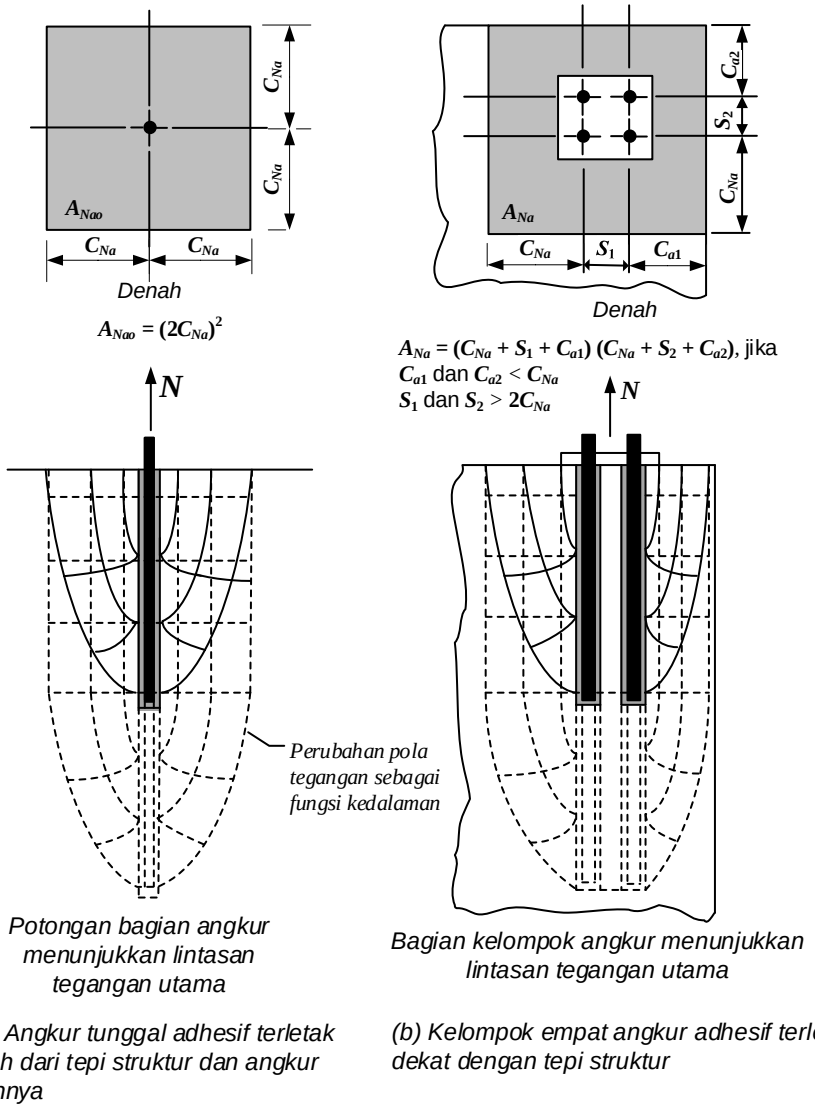
PENJELASAN

jebol beton seperti yang diberikan oleh Pers. (17.4.2.1a) dan (17.4.2.1b) (Eligehausen et al. 2006a). Pengaruh spasi angkur dan jarak tepi pada kekuatan lekatan dan kekuatan terhadap jebol beton harus dievaluasi untuk angkur adhesif. Pengaruh spasik angkur dan jarak tepi pada kekuatan lekatan nominal angkur adhesif dalam tarik sudah termasuk dalam faktor modifikasi A_{Na}/A_{Nao} dan $\psi_{ed,Na}$ dalam Pers. (17.4.5.1a) dan (17.4.5.1b).

Pengaruh tepi yang dekat dan angkur dibebani berdekatan pada kekuatan lekatan tergantung pada volume beton yang dimobilisasi oleh angkur tunggal adhesif. Sebaliknya pada konsep area kegagalan beton terproyeksi digunakan dalam Pers. (17.4.2.1a) dan (17.4.2.1b) untuk menghitung kekuatan jebol dari angkur adhesif, area yang terpengaruh berhubungan dengan kekuatan lekatan dari angkur adhesif yang digunakan dalam Pers. (17.4.5.1a) dan (17.4.5.1b) bukan merupakan fungsi dari kedalaman penanaman, melainkan fungsi dari diameter angkur dan karakteristik tegangan lekatan. Jarak kritis c_{Na} diasumsikan sama, baik beton retak atau tidak retak; untuk sederhananya, hubungan untuk c_{Na} dalam Pers. (17.4.5.1d) menggunakan karakteristik tegangan lekatan dalam beton tidak retak τ_{uncr}. Hal ini telah diverifikasi oleh studi eksperimental dan numerik (Eligehausen et al. 2006a). Gambar R17.4.5.1(a) menunjukkan A_{Nao} dan pengembangan Pers. (17.4.5.1c). A_{Nao} adalah luasan pengaruh terproyeksi terhadap kekuatan lekatan angkur adhesif tunggal. Gambar R17.4.5.1(b) menunjukkan contoh luas pengaruh terproyeksi untuk sekelompok angkur. Karena, dalam kasus ini, A_{Na} adalah luas pengaruh terproyeksi untuk sekelompok angkur, dan A_{Nao} adalah luas pengaruh terproyeksi untuk angkur tunggal, tidak perlu menyertakan n, jumlah angkur, dalam Pers. (17.4.5.1b). Jika angkur dalam kelonpok angkur (angkur dibebani oleh pelat tumpuan atau perangkat tambahan) diposisikan sedemikian rupa terhadap luas pengaruh terproyeksi dari angkur individu saling tumpang tindih, nilai A_{Na} lebih kecil dari nA_{Nao}.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Kekuatan tarik angkur adhesif yang berspasi rapat dengan kekuatan lekatan yang rendah dapat secara signifikan melebihi nilai yang diberikan oleh Pers. (17.4.5.1b). Faktor koreksi diberikan dalam literatur (Eligehausen et al. 2006a) untuk mengatasi masalah ini, tetapi untuk penyederhanaannya, faktor ini tidak dimasukkan dalam standar.



Gambar R17.4.5.1 – Perhitungan daerah pengaruh A_{Nao} dan A_{Na}

17.4.5.2 Kekuatan lekatan dasar angkur adhesif tunggal dalam tarik pada beton retak, N_{ba}, tidak boleh melebihi

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef} \qquad (17.4.5.2)$$

R17.4.5.2 Persamaan kekuatan lekatan dasar angkur adhesif seperti yang diberikan dalam Pers. (17.4.5.2) menunjukkan model tegangan lekatan yang seragam yang telah ditunjukkan untuk memberikan prediksi terbaik kekuatan lekatan angkur adhesif melalui studi numerik dan perbandingan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tegangan lekatan karakteristik, τ_{cr}, harus diambil sebesar fraktil 5 persen hasil uji yang dilakukan dan dievaluasi menurut ACI 355.4.

Bila analisis menunjukkan keretakan pada tingkat beban layan, angkur adhesif harus berkualifikasi untuk penggunaan dalam beton retak menurut ACI 355.4.

Untuk angkur adhesif yang terletak dalam daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan tidak ada retak pada tingkat beban layan, τ_{uncr} diizinkan untuk digunakan sebagai pengganti dari τ_{cr} dalam Pers. (17.4.5.2) dan harus diambil sebesar fraktil 5 persen hasil uji yang dilakukan dan dievaluasi menurut ACI 355.4.

Diizinkan untuk menggunakan nilai-nilai tegangan lekatan karakteristik minimum dalam Tabel 17.4.5.2 asalkan a) hingga e) dipenuhi:

a) Angkur harus memenuhi persyaratan ACI 355.4;
b) Angkur harus dipasang dalam lubang yang dibor dengan bor tumbuk putar (*rotary impact drill*) atau bor batu (*rock drill*);
c) Beton pada waktu pemasangan angkur harus mempunyai kekuatan tekan minimum sebesar 17 MPa;
d) Beton pada waktu pemasangan angkur harus mempunyai umur minimum 21 hari;
e) Suhu beton pada waktu pemasangan angkur harus paling sedikit 10°C

Tabel 17.4.5.2 – Tegangan lekatan karakteristik minimum[1][2]

Lingkungan pemasangan dan layan	Kadar kelembaban beton pada waktu pemasangan angkur	Suhu layan puncak beton, °C	τ_{cr}, MPa	τ_{uncr}, MPa
Luar ruangan	Kering ke jenuh sepenuhnya	79	1,4	4,5
Dalam ruangan	Kering	43	2,1	7,0

[1]Bila desain angkur menyertakan pembebanan tarik tetap, kalikan nilai τ_{cr} dan τ_{uncr} dengan 0,4.
[2]Bila desain angkur menyertakan beban gempa untuk struktur yang ditetapkan sebagai Kategori Desain Seismik C, D, E, atau F, kalikan nilai τ_{cr} dengan 0,8 dan τ_{uncr} dengan 0,4.

PENJELASAN

model yang berbeda dengan basis data internasional hasil eksperimen (Cook et al. 1998). Kekuatan lekatan dasar berlaku untuk kegagalan lekatan yang terjadi antara beton dan bahan adhesif sama seperti kegagalan antara angkur dan bahan adhesif.

Karakteristik tegangan lekatan harus berdasarkan pada pengujian yang dilakukan sesuai dengan ACI 355.4 dan harus menggambarkan kombinasi pemasangan secara khusus dan kondisi penggunaan yang diantisipasi selama konstruksi dan selama masa layan angkur. Untuk kasus-kasus dimana informasi produk khusus tidak tersedia pada saat desain, Tabel 17.4.5.2 memberikan nilai-nilai standar batas bawah. Karakteristik tegangan lekatan pada Tabel 17.4.5.2 adalah nilai minimum yang diizinkan untuk sistem angkur adhesif yang memenuhi syarat sesuai dengan ACI 355.4 yang ditabulasi untuk kondisi pemasangan dan kondisi penggunaannya. Penggunaan nilai-nilai ini terbatas hanya pada kombinasi kondisi spesifik yang terdaftar; nilai untuk kombinasi lain dari kondisi pemasangan dan penggunaan tidak boleh diasumsikan. Bilamana ada beban tetap dan beban gempa, faktor yang berlaku diberikan dalam catatan kaki Tabel 17.4.5.2 harus dikalikan bersamaan. Tabel mengasumsikan bahwa semua beton memiliki usia minimum 21 hari dan kekuatan tekan beton minimum 17 MPa. Lihat R17.1.2.

Istilah "*dalam ruangan*" dan "*luar ruangan*" seperti yang digunakan dalam Tabel 17.4.5.2 mengacu pada sebuah sistem instalasi dan kondisi lingkungan layan tertentu. Kondisi dalam ruangan mewakili angkur yang dipasang pada beton kering dengan bor tumbuk putar (*rotary impact drill*) atau bor batu (*rock drill*) dan mengalami variasi suhu beton yang dibatasi selama masa layan angkur. Kondisi luar ruangan diasumsikan terjadi, ketika pemasangan angkur, beton yang terpapar cuaca dan kemungkinan basah. Angkur yang dipasang pada kondisi di luar ruangan juga dianggap bergantung pada variasi suhu beton yang lebih besar seperti suhu yang dingin dan peningkatan suhu akibat paparan langsung sinar matahari.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Sementara karakterisasi dalam ruangan/luar ruangan berguna untuk banyak aplikasi, seperti situasi dimana interpretasi yang tepat untuk istilah "dalam ruanag" dan "luar ruangan" tidak berlaku. Misalnya, angkur yang dipasang sebelum penutup bangunan (*building envelope)* selesai yang melibatkan pengeboran pada beton yang jenuh air. Dengan demikian, karakteristik minimum tegangan lekatan yang berhubungan dengan kondisi luar ruangan pada Tabel 17.4.5.2 berlaku, terlepas dari apakah lingkungan layan nya "dalam ruangan" atau "luar ruangan". Bor tumbuk putar dan bor batu menghasilkan geometri lubang yang tidak seragam yang umumnya baik untuk lekatan. Pemasangan angkur adhesif di lubang inti yang dibor dapat menghasilkan karakteristik tegangan lekatan yang jauh lebih rendah. Karena efek ini sangat tergantung pada produk, desain angkur yang akan dipasang di lubang inti yang dibor harus mengikuti karakteristik spesifik produk dari tegangan lekatan yang ditetapkan melalui pengujian sesuai dengan ACI 355.4. Karakteristik tegangan lekatan yang berhubungan dengan sistem angkur adhesif yang spesifik bergantung pada beberapa parameter. Akibatnya, harus berhati-hati saat memasukkan semua parameter yang relevan dengan karakteristik nilai tegangan lekatan yang digunakan dalam desain. Parameter ini termasuk tetapi tidak terbatas pada: a) Jenis dan durasi pembebanan – kekuatan lekatan direduksi untuk pembebanan tarik tetap. b) Retak beton – kekuatan lekatan lebih tinggi pada beton yang tidak retak. c) Ukuran angkur – kekuatan lekatan umumnya berbanding terbalik dengan diameter angkur. d) Metode pengeboran – kekuatan lekatan mungkin lebih rendah untuk angkur yang dipasang di lubang-lubang bor inti e) Tingkat kejenuhan beton pada saat pengeboran lubang dan instalasi angkur - kekuatan lekatan dapat direduksi karena kejenuhan beton. f) Suhu beton saat pemasangan – pemasangan angkur dalam kondisi dingin dapat menyebabkan

© BSN 2019

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	terhambatnya proses perekatan dan mengurangi kekuatan lekatan. g) Umur beton saat pemasangan – pemasangan pada beton yang terlalu dini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan lekatan (lihat R17.1.2) h) Temperatur beton yang tinggi selama masa layan angkur – pada kondisi tertentu (misalnya, angkur pada komponen beton tipis yang terpapar langsung sinar matahari), suhu beton yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan lekatan. i) Paparan kimia – angkur yang digunakan pada lingkungan industri dapat terpapar tingginya zat kontaminan yang dapat mengurangi kekuatan lekatan dari waktu ke waktu. Angkur yang diuji dan dinilai oleh ACI 355.4 mungkin dalam beberapa kasus tidak memenuhi syarat untuk semua kondisi instalasi dan lingkungan layan yang diwakili oleh Tabel 17.4.5.2. Oleh karena itu, ketika nilai minimum yang diberikan dalam Tabel 17.4.5.2 digunakan untuk desain, kondisi instalasi dan lingkungan layan yang relevan harus ditentukan sesuai dengan 17.8.2.1, dan hanya angkur yang telah memenuhi syarat oleh ACI 355.4 untuk instalasi dan lingkungan layan sesuai dengan karakteristik tegangan lekatan yang diambil dari Tabel 17.4.5.2 harus disyaratkan. Karakteristik tegangan lekatan terkait dengan sistem angkur adhesif terkualifikasi untuk satu set instalasi dan kondisi penggunaan tertentu dapat secara substansial melebihi nilai minimum yang diberikan pada Tabel 17.4.5.2. Misalnya, diameter angkur 13 mm hingga 20 mm yang dipasang di dalam lubang bor pada beton kering dimana penggunaan dibatasi untuk kondisi dalam ruangan *(Indoor*) pada beton tidak retak seperti yang dijelaskan di atas dapat menunjukkan karakteristik tegangan lekatan τ_{uncr} dalam kisaran 14 hingga 17 MPa.
17.4.5.3 Faktor modifikasi untuk kelompok angkur adhesif yang dibebani secara eksentris dalam tarik, $\psi_{ec,Na}$, harus dihitung sebesar:	**R17.4.5.3** Mengacu pada R17.4.2.4.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

$$\Psi_{ec,\,Na} = \frac{1}{\left(1 + \frac{e'_N}{c_{NA}}\right)} \qquad (17.4.5.3)$$

tetapi $\psi_{ec,Na}$ tidak boleh diambil lebih besar dari 1,0.

Jika pembebanan pada kelompok angkur adhesif adalah sedemikian sehingga hanya beberapa angkur adhesif dalam kondisi tarik, hanya angkur adhesif tersebut yang dalam kondisi tarik harus ditinjau ketika menentukan eksentrisitas e'_N untuk penggunaan dalam Pers. (17.4.5.3) dan untuk perhitungan N_{ag} menurut Pers. (17.4.5.1b).

Dalam kasus dimana pembebanan eksentris terjadi terhadap dua sumbu ortogonal, faktor modifikasi, $\psi_{ec,Na}$, harus dihitung untuk setiap sumbu secara individual dan produk faktor-faktor ini yang digunakan sebagai $\psi_{ec,Na}$ dalam Pers. (17.4.5.1b).

17.4.5.4 Faktor modifikasi untuk pengaruh tepi untuk angkur adhesif tunggal atau kelompok angkur yang dibebani dalam tarik, $\psi_{ed,Na}$, harus dihitung sebagai

Jika $c_{a,min} \geq c_{an}$ maka $\psi_{ed,Na} = 1{,}0$ (17.4.5.4a)

Jika $c_{a,min} < c_{an}$ maka $\psi_{ed,Na} = 0{,}7 + 0{,}3\frac{c_{a,\,min}}{c_{Na}}$ (17.4.5.4b)

R17.4.5.4 Jika angkur dipasang di dekat tepi, kekuatannya jauh berkurang dari A_{NA}/A_{Nao}. Jika jarak selimut sisi terkecil lebih besar dari atau sama dengan c_{Na}, tidak ada reduksi ($\psi_{ec,Na} = 1$). Jika selimut samping kurang dari c_{Na}, faktor $\psi_{ec,Na}$ mempertimbangkan efek tepi (Fuchs et al. 1995; Eligehausen et al. 2006a).

17.4.5.5 Faktor modifikasi untuk angkur adhesif yang didesain untuk beton tak retak sesuai dengan 17.4.5.2 tanpa tulangan tambahan untuk mengontrol belah beton, $\psi_{cp,Na}$, harus dihitung sebagai:

Jika $c_{a,min} \geq c_{ac}$ maka $\psi_{cp,Na} = 1{,}0$ (17.4.5.5a)

Jika $c_{a,min} < c_{ac}$ maka $\psi_{cp,Na} = \frac{c_{a,\,min}}{c_{ac}}$ (17.4.5.5b)

tetapi $\psi_{cp,Na}$ yang ditentukan oleh Pers. (17.4.5.5b) tidak boleh diambil kurang dari c_{Na}/c_{ac}, dimana jarak tepi kritis, c_{ac},

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
didefinisikan dalam 17.7.6. Untuk semua kasus lainnya, $\psi_{cp,Na}$ harus diambil sebesar 1,0.	
17.5 - Persyaratan desain untuk pembebanan geser	**R17.5 - Persyaratan desain untuk pembebanan geser**
17.5.1 *Kekuatan baja angkur dalam geser*	**R17.5.1** *Kekuatan baja angkur dalam geser*
17.5.1.1 Kekuatan nominal angkur dalam geser yang dikontrol oleh kekuatan baja, V_{sa}, harus dievaluasi dengan perhitungan berdasarkan pada properti bahan dan dimensi fisik angkur. Bila jebol beton merupakan mode kegagalan potensial, kekuatan geser baja yang disyaratkan harus konsisten dengan permukaan jebol yang diasumsi.	**R17.5.1.1** Beban geser yang diaplikasikan ke setiap angkur dalam suatu kelompok dapat bervariasi tergantung pada asumsi untuk permukaan jebol beton dan redistribusi beban (lihat R17.5.2.1).
17.5.1.2 Kekuatan nominal angkur dalam kondisi geser, V_{sa}, tidak boleh melebihi a) hingga c):	**R17.5.1.2** Kekuatan geser nominal angkur paling baik direpresentasikan sebagai fungsi f_{uta} daripada f_{ya} karena sebagian besar bahan angkur tidak menunjukkan titik leleh yang jelas. *Stud* yang dilas mempunyai kekuatan geser baja yang lebih tinggi dari angkur berkepala karena penjepitan oleh las antara *stud* dan pelat dasar. Penggunaan Pers. (17.5.1.2a) dan (17.5.1.2b) dengan faktor beban dalam 5.3 dan faktor-ϕ dari 17.3.3 memberikan kekuatan desain yang konsisten dengan AISC 360.
a) Untuk angkur *stud* berkepala dicor di tempat $V_{sa} = A_{se,V} f_{uta}$ (17.5.1.2a) dimana $A_{se,V}$ adalah luas penampang efektif angkur dalam geser, mm^2, dan f_{uta} tidak boleh diambil lebih besar dari yang terkecil dari $1{,}9 f_{ya}$ dan 860 MPa.	Pembatasan $1{,}9 f_{ya}$ pada f_{uta} adalah untuk memastikan bahwa dalam kondisi beban layan, tegangan angkur tidak melebihi f_{ya}. Batas pada f_{uta} dari $1{,}9 f_{ya}$ ditentukan dengan mengubah ketentuan LRFD ke kondisi tingkat layan yang sesuai, sebagaimana dibahas dalam R17.4.1.2.
b) Untuk angkur baut berkepala dan baut berkait dicor di tempat dan untuk angkur tanam pascacor dimana selongsong (*sleeves*) tidak menerus melalui bidang geser $V_{sa} = 0{,}6 A_{se,V} f_{uta}$ (17.5.1.2b) dimana $A_{se,V}$ adalah luas penampang efektif angkur tunggal dalam kondisi geser, mm^2, dan f_{uta} tidak boleh diambil lebih besar dari terlebih kecil dari $1{,}9 f_{ya}$ dan 860 MPa.	Untuk angkur tanam pascacor yang memiliki luas penampang yang tereduksi sepanjang angkur, luas penampang angkur yang efektif harus disediakan oleh pabrikan. Untuk batang berdrat dan baut berkepala, ASME B1.1 mendefinisikan $A_{se,V}$ sebagai $A_{se,V} = \frac{\pi}{4}\left(d_a - \frac{0{,}9743}{n_t}\right)^2$ dimana n_t adalah jumlah drat per inci.
c) Untuk angkur tanam pascacor dimana selongsong (*sleeves*) menerus melalui bidang geser, V_{sa} harus didasarkan pada hasil uji yang dilakukan dan dievaluasi menurut ACI 355.2. Sebagai alternatif, Pers. (17.5.1.2b) diizinkan untuk digunakan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.5.1.3 Bila angkur digunakan dengan bantalan grouting (*grout pads*) yang sudah terbuat (*built-up*), kekuatan nominal dari 17.5.1.2 harus dikalikan dengan faktor 0,80.	
17.5.2 *Kekuatan jebol (breakout) beton angkur dalam geser*	**R17.5.2** *Kekuatan jebol (breakout) beton angkur dalam geser*
17.5.2.1 Kekuatan jebol beton nominal dalam kondisi geser, V_{cb} untuk angkur tunggal atau V_{cbg} untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi:	**R17.5.2.1** Persamaan kekuatan geser dikembangkan dari Metode CCD (lihat R17.3.2). Mereka mengasumsikan sudut kerucut jebol (*breakout cone*) sekitar 35 derajat (lihat Gambar R17.3.2b) dan mempertimbangkan teori mekanika fraktur. Pengaruh angkur majemuk, spasi angkur, jarak ke tepi, dan ketebalan komponen beton pada kekuatan jebol beton nominal dalam geser disertakan dengan menerapkan faktor reduksi A_{Vc}/A_{Vco} dalam Pers. (17.5.2.1a) dan (17.5.2.1b), dan $\psi_{ec,V}$ dalam Pers. (17.5.2.1b). Untuk angkur yang jauh dari tepi, 17.5.2 biasanya tidak akan menentukan. Untuk kasus-kasus seperti ini, 17.5.1 dan 17.5.3 sering menentukan.
a) Untuk gaya geser yang tegak lurus terhadap tepi pada angkur tunggal $V_{cb} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \Psi_{ed,V} \Psi_{c,V} \Psi_{h,V} V_b$ (17.5.2.1a)	Gambar R17.5.2.1a menunjukkan A_{Vco} dan pengembangan Pers. (17.5.2.1c). A_{Vco} adalah luas terproyeksi maksimum untuk angkur tunggal yang mendekati luas permukaan penuh prisma atau kerucut jebol untuk angkur yang tidak terpengaruh oleh jarak ke tepi, spasi, atau kedalaman angkur. Gambar R17.5.2.1b menunjukkan contoh daerah yang diproyeksikan untuk berbagai pengaturan angkur tunggal dan majemuk. A_{Vc} memperkirakan luas permukaan penuh dari kerucut jebol untuk pengaturan angkur tertentu. Karena A_{Vc} adalah luas total yang terproyeksi untuk sekelompok angkur, dan A_{Vco} adalah luas untuk angkur tunggal, maka tidak perlu menyertakan jumlah angkur dalam persamaan.
b) Untuk gaya geser yang tegak lurus terhadap tepi pada kelompok angkur $V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \Psi_{ec,V} \Psi_{ed,V} \Psi_{c,V} \Psi_{h,V} V_b$ (17.5.2.1b)	Seperti yang ditunjukkan contoh pada Gambar R17.5.2.1b dari dua kelompok yang dibebani geser, saat menggunakan Pers. (17.5.2.1b) untuk kasus dimana spasi angkur lebih besar dari jarak ke tepi ke angkur dekat tepi $c_{a1,1}$, kedua asumsi untuk distribusi beban yang digambarkan dalam Kasus 1 dan 2 harus dipertimbangkan. Ini karena angkur yang terdekat dengan tepi bisa menjadi yang pertama mengalami kegagalan atau seluruh kelompok bisa
c) Untuk gaya geser yang sejajar terhadap tepi, V_{cb} atau V_{cbg} diizinkan sebesar dua kali nilai gaya geser ditentukan berturut-turut oleh Pers. (17.5.2.1a) atau (17.5.2.1b), dengan gaya geser yang diasumsikan bekerja tegak lurus terhadap tepi dan dengan $\psi_{ed,V}$ diambil sama dengan 1,0. d) Untuk angkur yang terletak di sudut, batas kekuatan jebol beton nominal harus ditentukan untuk setiap tepi, dan nilai minimum harus digunakan. Faktor-faktor $\psi_{ec,V}$, $\psi_{ed,V}$, $\psi_{c,V}$, dan $\psi_{h,V}$ didefinisikan berturut-turut dalam 17.5.2.5, 17.5.2.6, 17.5.2.7, dan 17.5.2.8. V_b adalah nilai kekuatan jebol beton dasar untuk angkur tunggal. A_{Vc} adalah luas terproyeksi permukaan kegagalan pada sisi komponen struktur beton pada tepinya untuk angkur tunggal atau kelompok angkur. Diizinkan untuk mengevaluasi A_{Vc} sebagai dasar piramida setengah terpancung yang terproyeksi pada muka samping komponen struktur dimana sisi atas setengah piramida diberikan oleh sumbu baris angkur yang dipilih sebagai yang kritis. Nilai c_{a1} harus diambil sebagai jarak dari tepi ke sumbu ini. A_{Vc} tidak boleh melebihi nA_{Vco}, dimana n	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

adalah jumlah angkur dalam kelompok angkur.

A_{Vco} adalah luas terproyeksi untuk angkur tunggal pada komponen struktur tinggi dengan jarak dari tepi sama atau lebih besar dari $1{,}5c_{a1}$ dalam arah tegak lurus terhadap gaya geser. Diizinkan untuk mengevaluasi A_{Vco} sebagai dasar setengah piramida dengan panjang sisi paralel terhadap tepi sebesar $3c_{a1}$ dan tinggi sebesar $1{,}5c_{a1}$

$$A_{Vco} = 4{,}5(c_{a1})^2 \qquad (17.5.2.1c)$$

Bila angkur ditempatkan pada jarak yang bervariasi dari tepi dan angkur dilas ke perangkat penyambung sedemikian untuk mendistribusikan gaya ke semua angkur, diizinkan untuk mengevaluasi kekuatannya berdasarkan pada jarak ke baris terjauh angkur dari tepi. Dalam kasus ini, diizinkan untuk mendasarkan nilai c_{a1} pada jarak dari tepi ke sumbu baris angkur terjauh yang dipilih sebagai yang kritis, dan semua geser harus diasumsikan untuk dipikul oleh baris angkur kritis ini sendiri.

PENJELASAN

gagal secara bersamaan dengan permukaan kegagalan yang berasal dari angkur yang terjauh dari tepi. Untuk Kasus 1, kekuatan geser baja disediakan oleh kedua angkur. Untuk Kasus 2, kekuatan geser baja disediakan sepenuhnya oleh angkur yang terjauh dari tepi. Kontribusi angkur yang terdekat dengan tepi tidak diperhitungkan. Selain itu, inspeksi angkur yang paling dekat dengan tepi untuk jebol beton akibat beban layan disarankan untuk mencegah retak yang tidak diinginkan pada kondisi layan. Jika spasi angkur s kurang dari jarak tepi ke angkur yang terdekat dengan tepi, maka permukaan kegagalan dapat menyatu (Eligehausen et al. 2006b) dan Kasus 3 pada Gambar R17.5.2.1b dapat diambil sebagai pendekatan konservatif.

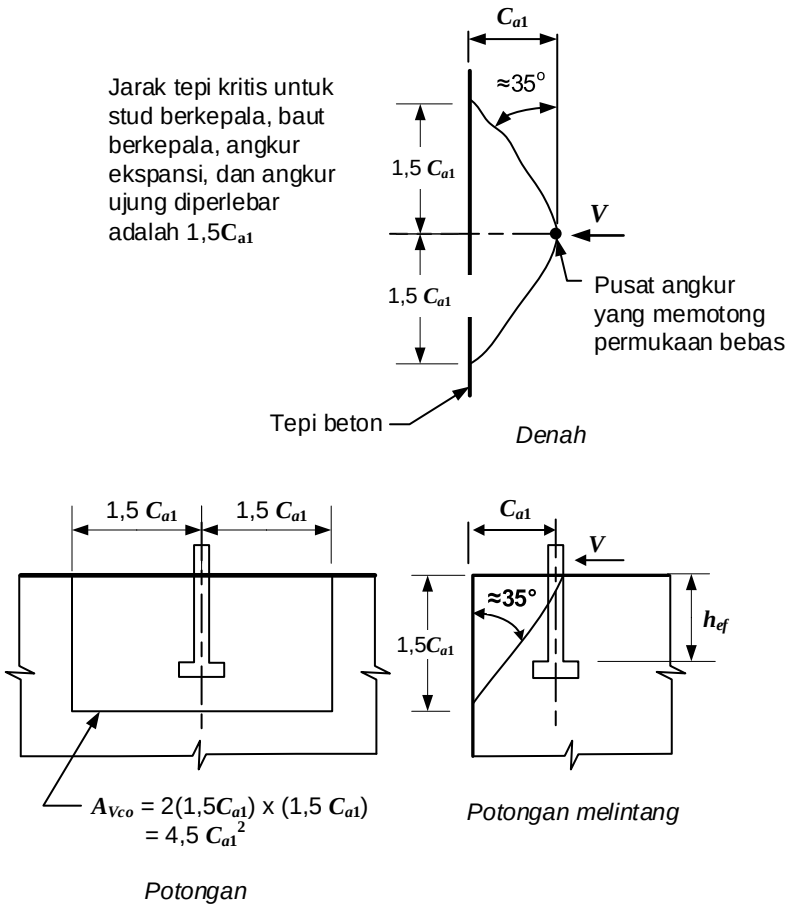
Jika angkur dilas ke pelat biasa (terlepas dari spasi angkur s), ketika angkur yang terdekat dengan tepi depan mulai membentuk kegagalan kerucut, beban geser disalurkan ke angkur di belakang yang lebih kaku dan kuat. Untuk alasan ini, hanya Kasus 2 yang perlu dipertimbangkan, yang konsisten dengan 6.5.5 dari *PCI Design Handbook* (PCI MNL 120). Untuk penentuan kekuatan geser baja, adalah konservatif hanya mempertimbangkan angkur yang terjauh dari tepi. Namun, untuk angkur yang memiliki rasio $s/c_{a1,1}$ kurang dari 0,6, angkur depan dan belakang dapat diasumsikan untuk menahan geser (Anderson dan Meinheit 2007). Untuk rasio $s/c_{a1,1}$ lebih besar dari 1, disarankan untuk memeriksa jebol beton dari angkur yang terdekat dengan tepi untuk mencegah retak yang tidak diinginkan pada kondisi layan.

Pembahasan lebih lanjut tentang desain angkur majemuk diberikan dalam Primavera et al. (1997).

Untuk kasus angkur di dekat sudut yang dikenai gaya geser dengan komponen tegak lurus ke setiap sisi, solusinya adalah memeriksa sambungan secara terpisah untuk setiap komponen gaya geser. Kasus khusus lainnya, seperti tahanan geser dari kelompok-kelompok angkur di mana semua angkur tidak memiliki jarak ke tepi yang sama, dibahas di Eligehausen et al. (2006a).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Ketentuan terperinci 17.5.2.1(a) berlaku untuk kasus gaya geser yang diarahkan ke tepi. Ketika gaya geser diarahkan menjauh dari tepi, kekuatan biasanya akan ditentukan oleh 17.5.1 atau 17.5.3. Kasus gaya geser sejajar dengan tepi ditunjukkan pada Gambar R17.5.2.1c. Gaya geser maksimum yang dapat diaplikasikan sejajar dengan tepi, $V_{\parallel}$, seperti yang dikontrol oleh jebol beton, adalah dua kali gaya geser maksimum yang dapat diaplikasikan tegak lurus ke tepi, $V_{\perp}$. Kasus khusus dapat muncul dengan gaya geser sejajar dengan tepi di dekat sudut. Dalam contoh angkur tunggal di dekat sudut (lihat Gambar R17.5.2.1d), ketentuan untuk gaya geser yang diaplikasikan tegak lurus ke tepi harus diperiksa sebagai tambahan pada ketentuan untuk gaya geser yang diaplikasikan sejajar dengan tepi.



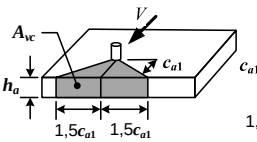
Gambar R17.5.2.1a – Perhitungan A_{Vco}

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

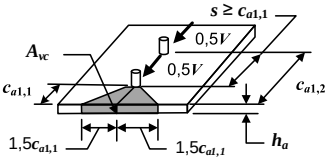
STANDAR

PENJELASAN

Jika $h_a < 1{,}5c_{a1}$

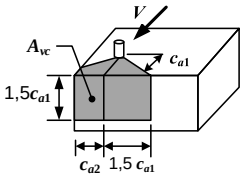


$A_{vc} = 2(1{,}5c_{a1})h_a$



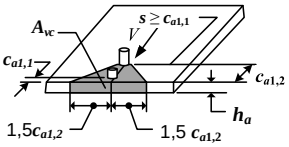
$A_{vc} = 2\ (1{,}5c_{a1,1})h_a$
Jika $h_a < 1{,}5c_{a1}$

Jika $c_{a2} < 1{,}5c_{a1}$



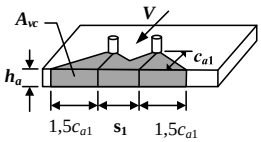
$A_{vc} = 1{,}5c_{a1}(1{,}5c_{a1}+c_{a2})$

Kasus 1 : Salah satu asumsi distribusi gaya adalah bahwa setengah dari tegangan geser pada bidang depan dan bidang proyeksi berada pada ambang kritis. Dalam perhitungan keruntuhan beton maka c_{a1} diambil sebagai $c_{a1,1}$



$A_{vc} = 2\ (1{,}5c_{a1,2})\ h_a$
jika $h_a < 1{,}5c_{a1}$

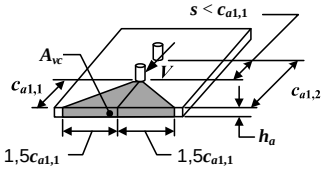
Jika $h_a < 1{,}5c_{a1}$ dan $s_1 < 3c_{a1}$



$A_{vc} = [2(1{,}5c_{a1}) + s_1]h_a$

Kasus 2 : Asumsi lain tentang distribusi gaya adalah bahwa gaya geser akan kritis di belakang angkur dan bidang proyeksinya. Asumsi ini hanya diperhitungkan bila angkur di las pada pelat dan tidak tergantung s. Dalam perhitungan keruntuhan beton maka, c_{a1} diambil sebagai $c_{a1,2}$

Catatan : Untuk $s \geq c_{a1,1}$, Kasus 1 dan 2 harus dievaluasi untuk menentukan kriteria perencanaan, kecuali pada keadaan dimana angkur di las pada pelat



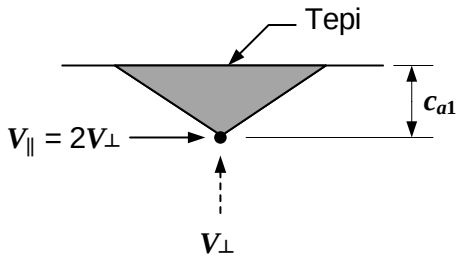
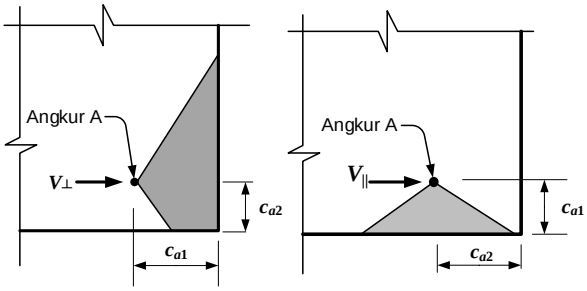
$A_{vc} = 2(1{,}5c_{a1,1})h_a$
Jika $h_a <$ **1,5** c_{a1}

Kasus 3 : Bila $s < c_{a1,1}$, Seluruh gaya geser V dianggap bekerja pada angkur terdepan. Kasus ini tidak berlaku bagi angkur yang di las pada pelat. Dalam perhitungan keruntuhan beton maka c_{a1} diambil sebagai $c_{a1,1}$

Gambar R17.5.2.1b – Perhitungan A_{Vc} untuk angkur tunggal dan kelompok angkur

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R17.5.2.1c – Gaya geser sejajar dengan sisi tepi**
	 **Gambar R17.5.2.1d – Gaya geser dekat sudut**
17.5.2.2 Kekuatan jebol beton dasar dalam geser untuk angkur tunggal pada beton retak, V_b, harus yang lebih kecil dari a) dan b): a) $V_b = \left(0{,}6\left(\frac{\ell_e}{d_a}\right)^{0{,}2}\sqrt{d_a}\right)\lambda_a\sqrt{f_c'}\left(c_{a1}\right)^{1{,}5}$ (17.5.2.2a) dimana ℓ_e adalah panjang tumpuan beban angkur untuk geser: $\ell_e = h_{ef}$ untuk angkur dengan kekakuan konstan sepanjang panjang penuh penampang tertanam, seperti *stud* berkepala dan angkur tanam pascacor dengan sebuah cangkang tabung sepanjang panjang penuh dalam penanaman; $\ell_e = 2d_a$ untuk angkur ekspansi yang terkendali torsi dengan selongsong (*sleeve*) jarak yang dipisahkan dari selongsong ekspansi, dan $\ell_e \le 8d_a$ dalam semua kasus. b) $V_b = 3{,}7\lambda a\sqrt{f_c'}\left(c_{a1}\right)^{1{,}5}$ (17.5.2.2b)	**R17.5.2.2** Seperti kekuatan tarik jebol beton, kekuatan geser jebol (beton tidak meningkat dengan permukaan kegagalan, yang proporsional terhadap $(c_{a1})^2$. Sebaliknya, kekuatan meningkat secara proporsional terhadap $(c_{a1})^{1,5}$ karena pengaruh ukuran. Kekuatan juga dipengaruhi oleh kekakuan dan diameter angkur (Fuchs et al. 1995; Eligehausen and Balogh 1995; Eligehausen et al. 1987/1988, 2006b). Pengaruh kekakuan dan diameter angkur tidak jelas dalam angkur berdiameter besar (Lee et al. 2010), menghasilkan pembatasan pada kekuatan geser jebol beton yang diberikan oleh Pers. (17.5.2.2b). Konstanta, 7, dalam persamaan kekuatan geser ditentukan dari data uji yang dilaporkan dalam Fuchs et al. (1995) pada fraktil 5 persen yang disesuaikan dengan keretakan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

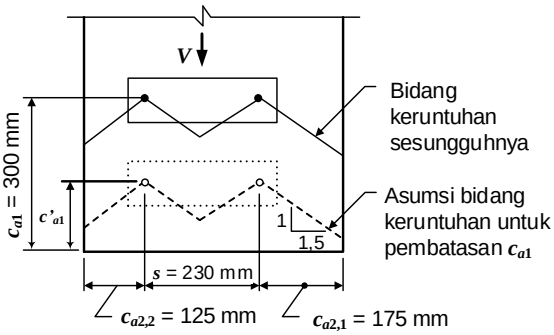
STANDAR	PENJELASAN
17.5.2.3 Untuk *stud* berkepala, baut berkepala, atau baut berkait yang dicor di tempat yang secara menerus dilas ke perangkat penyambung baja yang mempunyai tebal minimum sama dengan yang terbesar dari 10 mm dan setengah diameter angkur, kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi geser dari angkur tunggal pada beton retak, V_b, harus yang lebih kecil dari Pers. (17.5.2.2b) dan Pers. (17.5.2.3) $V_b = \left(0{,}66 \left(\frac{\ell_e}{d_a} \right)^{0{,}2} \sqrt{d_a} \right) \lambda_a \sqrt{f_c'} \left(c_{a1} \right)^{1{,}5}$ (17.5.2.3) dimana ℓ_e didefinisikan dalam 17.5.2.2 bahwa: a) untuk kelompok angkur, kekuatan ditentukan berdasarkan pada kekuatan baris angkur yang terjauh dari tepi; b) spasi angkur, s, tidak kurang dari 65 mm; dan c) tulangan disediakan pada sudut-sudut jika $c_{a2} \leq 1{,}5 h_{ef}$.	**R17.5.2.3** Untuk kasus baut berkepala dicor di tempat yang secara menerus dilas ke perangkat penyambung, data uji (Shaikh and Yi 1985) menunjukkan bahwa terlihat kekuatan geser yang lebih tinggi, mungkin karena sambungan las kaku yang menjepit angkur lebih efektif daripada perangkat penyambung dengan *anchor gap*. Karenanya, nilai geser dasar untuk angkur tersebut meningkat tetapi dikenakan batas atas dalam Pers. (17.5.2.2b) karena pengujian pada angkur berdiameter besar yang dilas ke perangkat penyambung baja tidak tersedia untuk membuktikankan nilai yang lebih tinggi daripada Pers. (17.5.2.2b). Desain tulangan tambahan dibahas dalam CEB (1997), Eligehausen et al. (1997/1998), dan Eligehausen and Fuchs (1988).
17.5.2.4 Bila angkur dipasang pada penampang sempit dengan ketebalan terbatas sehingga baik jarak tepi c_{a2} maupun tebal h_a kurang dari $1{,}5 c_{a1}$, nilai c_{a1} yang digunakan dalam perhitungan A_{Vc} sesuai dengan 17.5.2.1 demikian juga dalam Pers. (17.5.2.1) hingga (17.5.2.8) tidak boleh melebihi yang terbesar dari: a) $c_{a2}/1{,}5$, dimana c_{a2} adalah jarak tepi yang terbesar; b) $h_a/1{,}5$; dan c) $s/3$, dimana s adalah spasi maksimum tegak lurus terhadap arah geser, antara angkur-angkur dalam kelompok angkur.	**R17.5.2.4** Untuk kasus angkur yang dilpasang pada penampang sempit dengan ketebalan terbatas di mana jarak tepi tegak lurus terhadap arah beban dan ketebalan komponen kurang dari $1{,}5 c_{a1}$, kekuatan geser jebol beton yang dihitung dengan Metode CCD dasar (lihat R17.3.2) terlalu konservatif. Kasus-kasus ini dipelajari dalam Metode Kappa (Eligehausen and Fuchs 1988) dan masalahnya ditunjukkan oleh Lutz (1995). Serupa dengan pendekatan yang digunakan untuk kekuatan jebol beton dalam kondisi tarik di 17.4.2.3, kekuatan jebol beton dalam kondisi geser untuk kasus ini dievaluasi secara lebih akurat jika nilai c_{a1} digunakan dalam persamaan di 17.5.2.1 hingga 17.5.2.8 dan dalam perhitungan A_{Vc} dibatasi pada maksimum dari dua pertiga dari yang lebih besar dari dua jarak tepi tegak lurus terhadap arah geser, dua pertiga dari ketebalan komponen, dan sepertiga dari spasi angkur maksimum dalam kelompok angkur, diukur tegak lurus terhadap arah geser. Batas c_{a1} pada setidaknya sepertiga dari jarak antar

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

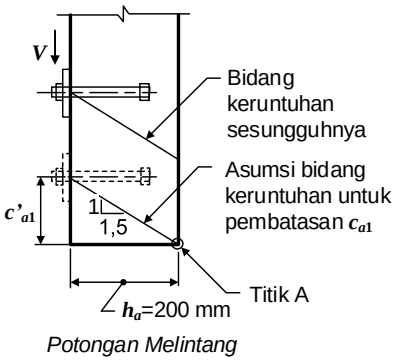
STANDAR | **PENJELASAN**

angkur maksimum dalam kelompok angkur mencegah penggunaan kekuatan yang dihitung berdasarkan prisma jebol (*breakout prisms*) individu untuk konfigurasi kelompok angkur.

Pendekatan ini diilustrasikan pada Gambar R17.5.2.4. Dalam contoh ini, nilai pembatas c_{a1} dilambangkan sebagai c'_{a1} dan digunakan untuk perhitungan A_{Vc}, A_{Vco}, $\psi_{ed,V}$, dan $\psi_{h,V}$ serta untuk V_b (tidak ditampilkan). Persyaratan 17.5.2.4 dapat digambarkan dengan memindahkan permukaan jebol beton aktual yang berasal dari c_{a1} aktual ke permukaan beton pada arah beban geser yang diterapkan. Nilai c_{a1} yang digunakan untuk perhitungan A_{Vc} dan dalam persamaan di 17.5.2.1 hingga 17.5.2.8 ditentukan ketika: (a) batas luar dari permukaan kegagalan pertama kali berpotongan dengan permukaan beton; atau (b) perpotongan permukaan jebol antara angkur dalam kelompok berpotongan pertama kali dengan permukaan beton. Untuk contoh yang ditunjukkan pada Gambar R17.5.2.4, Titik A menunjukkan perpotongan dari permukaan kegagalan yang diasumsikan untuk membatasi c_{a1} dengan permukaan beton.



Denah



Potongan Melintang

1. Aktual $c_{a1} = 300\ mm$
2. Jarak antara dua tepi terluar c_{a2} dan h_a kurang dari $1{,}5c_{a1}$
3. Batasan nilai c_{a1} (pada gambar disimbolkan sebagai c'_{a1}) untuk digunakan di dalam perhitungan A_{Vc} dan di dalam pers. 17.5.2.1 hingga 17.5.2.8 ditentukan sebagai nilai terbesar dari: $\frac{(c_{a2,max})}{1{,}5}$

a. $\frac{(c_{a2,max})}{1{,}5} = \frac{175}{1{,}5} = 117$ mm

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

b. $\frac{(h_a)}{1,5} = \frac{200}{1,5}$ = 133 mm (menentukan)

c. $\frac{s}{3} = \frac{1}{3}(230)$=75 mm

4. Untuk kasus ini, A_{Vc}, A_{Vco}, $\psi_{ed,V}$, dan $\psi_{h,V}$ ditentukan sebagai berikut:

a. $A_{Vc} = \frac{125+230+175}{1,5\times133}$ = 105,735 mm^2

b. $A_{Vco} = 4,5(133)^2$ = 79,600 mm^2

c. $\psi_{ed,V} = 0,7 + \frac{0,3(125)}{133}$ =0,98

$\psi_{h,V}$ = 1,0 karena $c_{a1}=(h_a)/1,5$. Titik A menunjukkan perpotongan dari permukaan keruntuhan yang diasumsikan dengan permukaan beton yang akan menentukan nilai batas dari c_{a1}.

Gambar R17.5.2.4 – Contoh gaya geser dimana angkur berada pada komponen yang sempit dan tebal yang terbatas

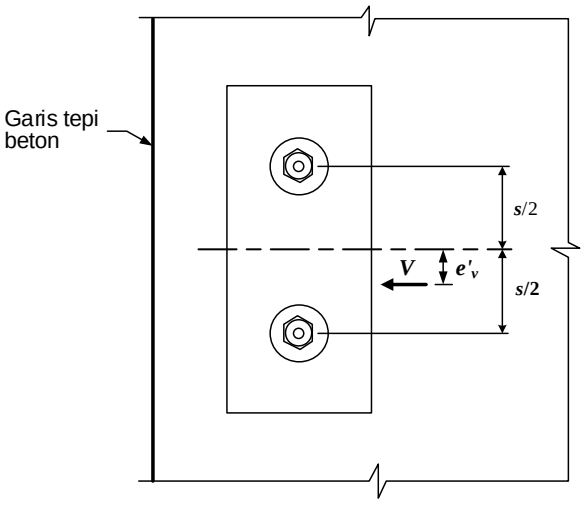
17.5.2.5 Faktor modifikasi untuk kelompok angkur yang dibebani secara eksentris dalam kondisi geser, $\psi_{ec,V}$, harus dihitung sebagai

$$\Psi_{ec,V} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_V}{3c_{a1}}\right)} \qquad (17.5.2.5)$$

tetapi $\psi_{ec,V}$ tidak boleh diambil lebih besar dari 1,0.

Jika pembebanan pada kelompok angkur sedemikian sehingga hanya beberapa angkur dibebani geser dalam arah yang sama, hanya angkur-angkur tersebut yang dibebani geser dalam arah yang sama yang harus ditinjau ketika menentukan eksentrisitas e'_V untuk penggunaan dalam Pers. (17.5.2.5) dan untuk perhitungan V_{cbg} menurut Pers. (17.5.2.1b).

R17.5.2.5 Pasal ini memberikan faktor modifikasi untuk gaya geser eksentris menuju tepi pada sekelompok angkur. Jika gaya geser bersumber di atas bidang permukaan beton, gaya geser terlebih dulu harus diselesaikan sebagai gaya geser di bidang permukaan beton, dengan momen yang mungkin menyebabkan tarik pada angkur, tergantung pada gaya normal. Gambar R17.5.2.5 mendefinisikan istilah e'_V untuk menghitung faktor modifikasi $\psi_{ec,V}$ yang memperhitungkan fakta bahwa lebih banyak gaya geser bekerja pada satu angkur daripada angkur yang lain, cenderung membelah beton di dekat tepi.



Denah

Gambar R17.5.2.5 – Definisi e'_V untuk kelompok angkur

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.5.2.6 Faktor modifikasi untuk pengaruh tepi untuk angkur tunggal atau kelompok angkur yang dibebani gaya geser, $\psi_{ed,V}$, harus dihitung sebagai berikut menggunakan nilai c_{a2} yang lebih kecil. Jika $c_{a2} \geq 1{,}5c_{a1}$,maka $\psi_{ed,V} = 1{,}0$ (17.5.2.6a) Jika $c_{a2} < 1{,}5c_{a1}$, maka $\psi_{ed,V} = 0{,}7 + 0{,}3\frac{c_{a2}}{1{,}5c_{a1}}$ (17.5.2.6b) **17.5.2.7** Untuk angkur yang terletak di daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan tidak ada retak saat beban layan, faktor modifikasi berikut diizinkan $\psi_{c,V} = 1{,}4$ Untuk angkur yang terletak di daerah komponen struktur beton dimana analisis menunjukkan retak pada tingkat beban layan, faktor modifikasi berikut diizinkan: $\psi_{c,V}$ = **1,0** untuk angkur pada beton retak tanpa tulangan tambahan atau dengan tulangan tepi yang lebih kecil dari batang tulangan S13; $\psi_{c,V}$ = **1,2** untuk angkur pada beton retak dengan tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih besar antara angkur dan tepi; dan $\psi_{c,V}$ = **1,4** untuk angkur pada beton retak dengan tulangan dari batang tulangan S13 atau lebih besar antara angkur dan tepi, dan dengan tulangan yang dilingkupi dengan sengkang dengan spasi tidak lebih dari 100 mm.	
17.5.2.8 Faktor modifikasi untuk angkur yang terletak pada komponen struktur beton dimana $h_a < 1{,}5c_{a1}$, $\psi_{h,V}$ harus dihitung sebagai $\Psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1{,}5c_{a1}}{h_a}}$ (17.5.2.8) tetapi $\psi_{h,V}$ tidak boleh diambil kurang dari 1,0.	**R17.5.2.8** Untuk angkur yang terletak di komponen beton di mana $h_a < 1{,}5c_{a1}$, pengujian (CEB 1997; Eligehausen et al. 2006b) telah menunjukkan bahwa kekuatan jebol beton dalam kondisi geser tidak berbanding lurus dengan ketebalan komponen h_a. Faktor $\psi_{h,V}$ memperhitungkan pengaruh ini.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

17.5.2.9 Bila tulangan angkur baik disalurkan sesuai dengan Pasal 25 pada kedua sisi permukaan jebol, atau melingkupi angkur dan disalurkan melewati permukaan jebol, kekuatan desain tulangan angkur diizinkan untuk digunakan sebagai pengganti dari kekuatan jebol beton dalam menentukan ϕV_n. Faktor reduksi kekuatan sebesar 0,75 harus digunakan dalam desain tulangan angkur.

PENJELASAN

R17.5.2.9 Untuk kondisi di mana gaya geser terfaktor melebihi kekuatan jebol beton untuk angkur dalam kondisi geser, atau dimana kekuatan jebol tidak dievaluasi, kekuatan nominal dapat berupa tulangan angkur yang dipasang dengan tepat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R17.5.2.9a dan Gambar R17.5.2.9b. Untuk memastikan pelelehan tulangan angkur, tulangan angkur pada Gambar R17.5.2.9a harus melingkupi angkur dan ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan beton. Penelitian (Eligehausen et al. 2006b) di mana ketentuan untuk tulangan angkur (lihat Gambar R17.5.2.9a) terbatas pada tulangan angkur dengan diameter maksimum serupa dengan batang tulangan D16. Radius lengkung yang lebih besar berkaitan dengan diameter tulangan yang lebih besar dapat secara signifikan mengurangi efektivitas tulangan angkur dan, oleh karena itu, tulangan angkur dengan diameter yang lebih besar dari batang tulangan D19 tidak disarankan.

Tulangan angkur bisa juga terdiri dari sengkang dan sengkang ikat (termasuk *hairpin*) yang menjadi tulangan tepi yang tertanam dalam kerucut jebol dan ditempatkan sedekat mungkin dengan angkur selama masih bisa dilaksanakan (lihat Gambar R17.5.2.9b). Umumnya jarak antar tulangan kurang dari yang lebih kecil dari $0{,}5c_{a1}$ dan $0{,}3c_{a2}$ dari titik tengah angkur harus disertakan sebagai tulangan angkur. Dalam hal ini, tulangan angkur harus dikembangkan di kedua sisi permukaan jebol. Untuk alasan kesetimbangan, harus ada tulangan tepi. Penelitian di mana ketentuan-ketentuan ini mengacu terbatas pada tulangan angkur dengan diameter maksimum serupa dengan batang tulangan D19. Model *strut and tie* juga dapat digunakan untuk merancang tulangan angkur.

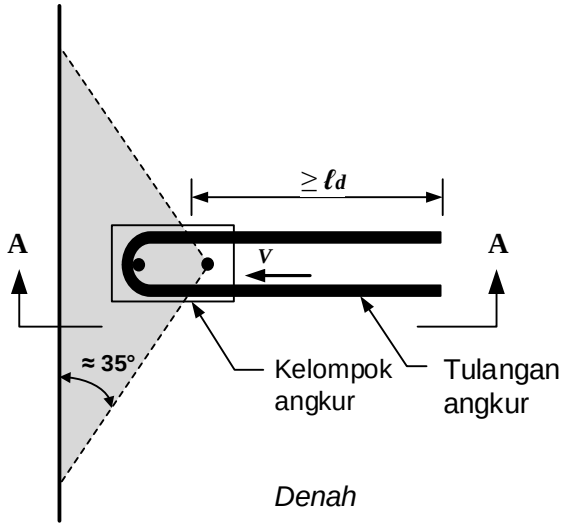
Karena tulangan angkur ditempatkan di bawah dimana gaya geser bekerja (lihat Gambar R17.5.2.9b), gaya di tulangan angkur akan lebih besar dari gaya gesernya. Dalam menentukan ukuran tulangan angkur, penggunaan faktor reduksi kekuatan ϕ sama dengan 0,75 direkomendasikan untuk geser dan untuk model *strut and tie*. Untuk alasan

© BSN 2019

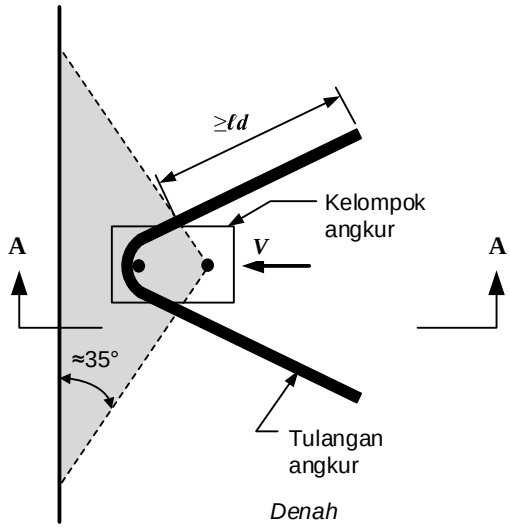
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

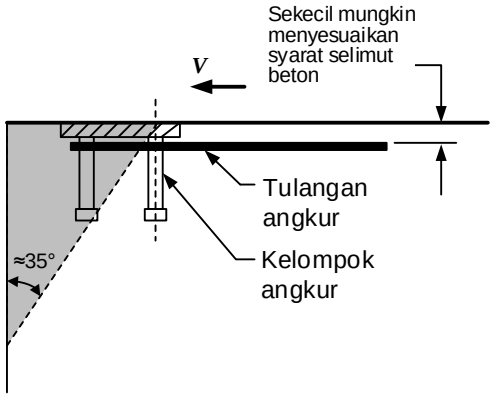
kepraktisan, penggunaan tulangan angkur umumnya dibatasi pada angkur tanam cor ditempat.



Denah



Denah



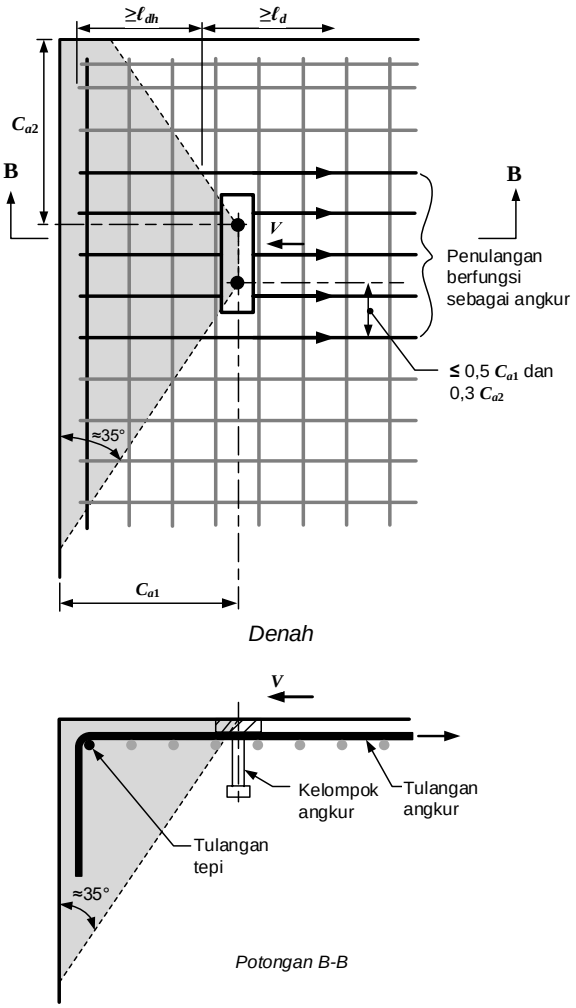
Potongan A-A

Gambar R17.5.2.9a – Tulangan angkur *hairpin* untuk gaya geser

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R17.5.2.9b – Tulangan tepi dan tulangan angkur dalam kondisi geser

17.5.3 *Kekuatan jungkit (pryout) beton angkur dalam geser*

17.5.3.1 Kekuatan jungkit (*pryout*) nominal, V_{cp} untuk angkur tunggal atau V_{cpg} untuk kelompok angkur, tidak boleh melebihi:

a) Untuk angkur tunggal

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cp} \qquad (17.5.3.1a)$$

Untuk angkur tanam cor ditempat, angkur ekspansi, dan angkur ujung diperlebar, N_{cp} harus diambil sebesar N_{cb} yang ditentukan oleh Pers. (17.4.2.1a), dan untuk angkur adhesif, N_{cp} harus yang lebih kecil dari N_a yang ditentukan oleh Pers. (17.4.5.1a) dan N_{cb} yang ditentukan oleh Pers. (17.4.2.1a).

R17.5.3 *Kekuatan jungkit (pryout) beton angkur dalam geser*

R17.5.3.1 Fuchs et al. (1995) menunjukkan bahwa tahanan geser jungkit *(pryout)* dapat diperkirakan satu hingga dua kali tahanan tarik angkur dengan nilai lebih rendah yang sesuai untuk h_{ef} kurang dari 65 mm. Karena ada kemungkinan bahwa kekuatan lekatan angkur adhesif bisa lebih kecil dari kekuatan jebol beton, perlu untuk mempertimbangkan baik 17.4.2.1 dan 17.4.5.1 untuk penentuan kekuatan jungkit.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

b) Untuk kelompok angkur

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cpg} \quad (17.5.3.1b)$$

Untuk angkur tanam cor di tempat, angkur ekspansi, dan angkur ujung diperlebar, N_{cpg} harus diambil sebesar N_{cbg} yang ditentukan dari Pers. (17.4.2.1b), dan untuk angkur adhesif, N_{cpg} harus yang lebih kecil dari N_{ag} yang ditentukan oleh Pers. (17.4.5.1b) dan N_{cbg} yang ditentukan oleh Pers. (17.4.2.1b).

Dalam Pers. (17.5.3.1a) dan (17.5.3.1b), k_{cp} = **1,0** untuk h_{ef} < **2,5 mm**; dan k_{cp} = **2,0** untuk $h_{ef} \geq$ **2,5 mm**.

17.6 - Interaksi gaya tarik dan geser

Kecuali jika ditentukan sesuai dengan 17.3.1.3, angkur atau kelompok angkur yang dikenai beban geser dan aksial harus didesain untuk memenuhi persyaratan 17.6.1 hingga 17.6.3. Nilai ϕN_n dan ϕV_n merupakan kekuatan perlu yang harus ditentukan oleh 17.3.1.1 atau 17.2.3.

17.6.1 Jika $V_{ua}/(\phi V_n) \leq$ **0,2** untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi geser, maka kekuatan penuh dalam tarik diizinkan: $\phi N_n \geq N_{ua}$.

17.6.2 Jika $N_{ua}/(\phi N_n) \leq$ **0,2** untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi tarik, maka kekuatan penuh dalam geser diizinkan: $\phi V_n \geq V_{ua}$.

17.6.3 Jika $V_{ua}/(\phi V_n) >$ **0,2** untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi geser dan $N_{ua}/(\phi N_n) >$ **0,2** untuk kekuatan yang mengendalikan dalam kondisi tarik, maka

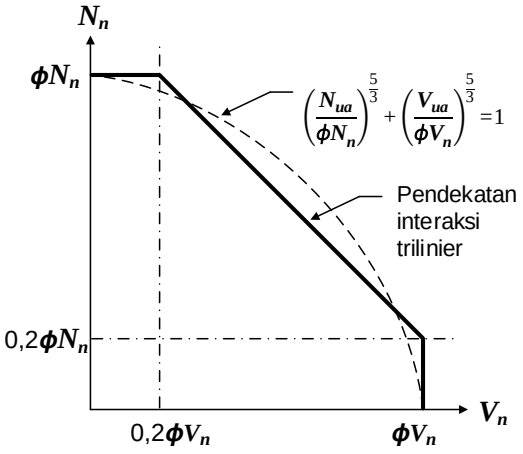
$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1{,}2 \quad (17.6.3)$$

R17.6 - Interaksi gaya tarik dan geser

Ekspresi interaksi geser-tarik secara tradisional telah dinyatakan sebagai

$$\left(\frac{N_{ua}}{N_n}\right)^{\varsigma} + \left(\frac{V_{ua}}{V_n}\right)^{\varsigma} \leq 1{,}0$$

dimana ς bervariasi antara 1 hingga 2. Rekomendasi trilinear saat ini adalah penyederhanaan ekspresi di mana ς = **5/3** (Gambar R17.6). Batasannya dipilih untuk menghilangkan persyaratan untuk perhitungan efek interaksi dimana terdapat nilai-nilai yang sangat kecil dari kekuatan kedua. Ekspresi interaksi lainnya yang terverifikasi oleh data pengujian, bagaimanapun, dapat digunakan untuk memenuhi 17.3.1.3.



Gambar R17.6 – Persamaan interaksi beban geser dan tarik

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.7 – Persyaratan jarak tepi, spasi, dan tebal perlu untuk mencegah kegagalan belah (*splitting*)	**R17.7 – Persyaratan jarak tepi, spasi, dan tebal perlu untuk mencegah kegagalan belah (*splitting*)**
Spasi dan jarak tepi minimum untuk angkur dan tebal minimum komponen struktur harus memenuhi 17.7.1 hingga 17.7.6, kecuali bila tulangan tambahan disediakan untuk mengontrol pembelahan beton. Nilai yang lebih rendah dari uji spesifik produk yang diadakan sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4 diizinkan.	Spasi minimum, jarak tepi, dan ketebalan sangat bergantung pada karakteristik angkur. Gaya saat pemasangan dan torsi pada angkur tanam pascacor dapat menyebabkan pembelahan beton di sekitarnya. Pembelahan beton seperti itu juga dapat terjadi saat pengencangan baut setelahnya selama penyambungan dari perangkat penyambung ke angkur termasuk angkur yang dicor di tempat. Sumber utama nilai untuk spasi minimum, jarak tepi, dan ketebalan angkur tanam pascacor beton harus merupakan hasil uji spesifik produk ACI 355.2 dan ACI 355.4. Namun dalam beberapa kasus, produk tertentu tidak dikenal di tahap desain. Nilai perkiraan diberikan untuk digunakan dalam desain.
17.7.1 Kecuali bila ditentukan sesuai 17.7.4, spasi minimum pusat ke pusat angkur harus sebesar $4d_a$ untuk angkur yang dicor di tempat yang tidak akan terpuntir, dan $6d_a$ untuk angkur yang dicor di tempat dengan torsi dan angkur tanam pascacor.	
17.7.2 Kecuali bila ditentukan sesuai dengan 17.7.4, jarak tepi minimum untuk angkur dicor di tempat yang tidak akan terpuntir harus didasarkan pada persyaratan selimut yang ditetapkan untuk tulangan di 20.6.1. Untuk angkur tanam dicor di tempat yang akan terpuntir, jarak tepi minimum harus sebesar $6d_a$.	**R17.7.2** Karena selimut tepi beton yang menutupi penanaman angkur dekat dengan tepi dapat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan ambrol sisi samping (*side-face blowout*) dalam 17.4.4, selain persyaratan selimut beton normal, mungkin akan lebih baik penggunaan selimut beton yang lebih tebal untuk meningkatkan kekuatan ambrol sisi samping.
17.7.3 Kecuali bila ditentukan sesuai dengan 17.7.4, jarak tepi minimum untuk angkur tanam pascacor harus didasarkan pada yang lebih besar dari persyaratan selimut yang ditetapkan untuk tulangan di 20.6.1, atau persyaratan jarak tepi minimum untuk produk-produk seperti yang ditentukan oleh uji sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4, dan tidak boleh kurang dari 2,0 kali ukuran agregat maksimum. Dengan tidak adanya informasi uji ACI 355.2 atau ACI 355.4 spesifik produk, jarak tepi minimum harus diambil sebesar tidak kurang dari:	**R17.7.3** Lubang bor untuk angkur tanam pascacor dapat menyebabkan retak mikro (*microcracking)*. Persyaratan minimum jarak ke tepi sebesar dua kali ukuran agregat terbesar adalah untuk meminimalkan pengaruh retak mikro tersebut.
Angkur adhesif ..... $6d_a$ Angkur ujung diperlebar ..... $6d_a$ Angkur terkontrol torsi ..... $8d_a$ Angkur terkontrol perpindahan ..... $10d_a$	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.7.4 Untuk angkur bilamana pemasangan tidak mengakibatkan gaya belah beton dan yang tidak akan terpuntir, jika jarak tepi atau spasi kurang dari yang ditetapkan dalam 17.7.1 hingga 17.7.3, perhitungan harus dilakukan dengan mensubstitusikan untuk d_a suatu nilai yang lebih kecil d_a' yang memenuhi persyaratan 17.7.1 hingga 17.7.3. Gaya yang dihitung yang diterapkan pada angkur harus dibatasi sampai nilai yang terkait dengan angkur yang mempunyai diameter sebesar d_a'.	**R17.7.4** Dalam beberapa kasus, mungkin lebih baik menggunakan diameter angkur yang lebih besar daripada persyaratan yang ditentukan oleh 17.7.1 hingga 17.7.3. Dalam kasus ini, dimungkinkan untuk menggunakan diameter angkur yang lebih besar, asalkan kekuatan desain angkur didasarkan pada asumsi diameter angkur yang lebih kecil d_a'.
17.7.5 Kecuali jika ditentukan oleh pengujian sesuai dengan ACI 355.2, nilai h_{ef} untuk angkur tanam pascacor ekspansi atau angkur ujung diperlebar tidak boleh melebihi yang terbesar dari 2/3 tebal komponen struktur, h_a, dan tebal komponen struktur dikurangi 100 mm.	**R17.7.5** Kegagalan belah (*splitting*) disebabkan oleh penyaluran beban antara baut dan beton. Batasan pada nilai h_{ef} tidak berlaku untuk angkur tanam cor ditempat dan angkur adhesif karena gaya pembelahan yang berkaitan dengan jenis angkur ini kurang daripada untuk angkur ekspansi dan angkur ujung diperlebar. Untuk semua angkur tanam pascacor, kedalaman penanaman maksimum untuk ketebalan komponen tertentu harus dibatasi seperti yang diperlukan untuk menghindari ambrol sisi belakang (*back-face blowout*) di sisi berlawanan dari komponen beton selama pengeboran lubang dan pengaturan angkur. Hal ini tergantung pada banyak variabel, seperti jenis angkur, metode pengeboran, teknik pengeboran, jenis dan ukuran peralatan pengeboran, keberadaan tulangan, dan kekuatan dan kondisi beton.
17.7.6 Kecuali bila ditentukan oleh uji tarik sesuai dengan ACI 355.2 atau ACI 355.4, jarak tepi kritis, c_{ac}, tidak boleh diambil kurang dari: Angkur adhesif ..... $2h_{ef}$ Angkur ujung diperlebar ..... $2{,}5h_{ef}$ Angkur ekspansi terkontrol torsi ..... $4h_{ef}$ Angkur ekspansi terkontrol perpindahan ..... $4h_{ef}$	**R17.7.6** Jarak tepi kritis c_{ac} ditentukan oleh *corner test* pada ACI 355.2 atau ACI 355.4, dan hanya berlaku untuk desain beton tidak retak. Untuk mengizinkan desain angkur-angkur jenis ini ketika informasi spesifikasi produk angkur tidak tersedia, diberikan nilai standar konservatif untuk c_{ac}. Penelitian telah menunjukkan bahwa persyaratan *corner* test tidak memenuhi $c_{a,\,min} = 1{,}5h_{ef}$ untuk beberapa angkur ekspansi dan angkur ujung diperlebar karena pemasangan jenis angkur ini menghasilkan tegangan tarik yang menyebabkan pembelahan (*splitting*) di beton yang meningkat selama dibebani, berpotensi menghasilkan kegagalan belah prematur (*premature splitting failure*). Demikian pula, angkur adhesif yang memenuhi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	persyaratan kedalaman penanaman maksimum dalam 17.7.5 mungkin tidak memenuhi persyaratan *corner test* dengan $c_{a,min} = c_{Na}$ akibat tegangan lentur tambahan yang diinduksi pada komponen struktur oleh angkur.
17.7.7 Dokumen perencanaan harus menetapkan penggunaan angkur dengan jarak tepi minimum seperti yang diasumsikan dalam desain.	
17.8 - Pemasangan dan inspeksi angkur **17.8.1** Angkur harus dipasang oleh personil yang terkualifikasi sesuai dengan dokumen perencanaan. Dokumen perencanaan harus mensyaratkan pemasangan angkur tanam pascacor sesuai dengan Instruksi pabrikan yang terkait. Pemasangan angkur adhesif harus dilakukan oleh personil yang dilatih untuk memasang angkur adhesif.	**R17.8 - Pemasangan dan inspeksi angkur** **R17.8.1** Banyak karakteristik kinerja angkur bergantung pada pemasangan angkur yang benar. Pemasangan angkur adhesif harus dilakukan oleh personil yang terkualifikasi untuk sistem angkur adhesif dan prosedur pemasangan yang digunakan. Personil konstruksi dapat menetapkan kualifikasi dengan menjadi personil konstruksi yang bersertifikasi melalui program sertifikasi. Untuk angkur tanam cor ditempat, harus diperhatikan bahwa angkur berada di posisi yang benar dalam bekisting dan sudah sesuai dengan dokumen perencanaan. Selanjutnya, harus dipastikan bahwa beton di sekitar angkur dipadatkan dengan benar. Inspeksi sangatlah penting untuk angkur tanam pascacor untuk memastikan prosedur pemasangan yang direkomendasikan pabrikan, dalam kasus angkur adhesif, Instruksi pabrikan yang terkait, sudah diikuti. Untuk angkur adhesif, pemantauan secara terus menerus saat proses pemasangan oleh inspektur yang terkualifikasi dianjurkan untuk memastikan prosedur pemasangan yang diperlukan sudah diikuti. Kekuatan dan kapasitas deformasi angkur tanam pascacor dinilai dengan pengujian berdasarkan ACI 355.2 atau ACI 355.4. Pengujian ini dilakukan dengan asumsi pemasangan sesuai dengan prosedur yang direkomendasikan pabrikan (dalam hal angkur adhesif, Instruksi pabrikan yang terkait). Beberapa jenis angkur sensitif terhadap variasi diameter lubang, kondisi kebersihan, orientasi sumbu, besarnya torsi pemasangan, lebar retak, dan variabel lainnya. Beberapa variabel ini secara tidak langsung sudah diperhitungkan dalam nilai

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	ϕ untuk jenis angkur yang berbeda, yang sebagian bergantung pada hasil tes keamanan pemasangan. Deviasi bruto dari hasil pengujian ACI 355.2 atau ACI 355.4 dapat terjadi jika komponen angkur diubah, atau jika kriteria atau prosedur pemasangan angkur berbeda dari yang ditentukan.
17.8.2 Pemasangan angkur harus diinspeksi sesuai dengan 1.9 dan peraturan umum gedung. Angkur adhesif harus dikenakan persyaratan 17.8.2.1 hingga 17.8.2.4.	
17.8.2.1 Untuk angkur adhesif, dokumen perencanaan harus menetapkan *proof loading* bilamana disyaratkan sesuai dengan ACI 355.4. Dokumen perencanaan harus juga menetapkan semua parameter yang berhubungan dengan tegangan lekatan karakteristik yang digunakan untuk perancangan menurut 17.4.5 termasuk umur minimum beton; rentang suhu beton; kondisi kelembaban beton saat pemasangan; tipe beton ringan, bilamana sesuai; dan persyaratan-persyaratan untuk pengeboran lubang dan persiapan.	**R17.8.2.1** Karena sensitivitas dari kekuatan lekatan untuk pemasangan, maka kontrol kualitas di lokasi pemasangan sangat penting untuk angkur adhesif. Apabila diperlukan, program *proof loading* harus disertakan dalam dokumen perencanaan. Untuk angkur adhesif, dokumen perencanaan juga harus menyediakan semua parameter yang berhubungan dengan tegangan lekatan karakteristik yang digunakan dalam perancangan. Parameter-parameter di bawah ini mungkin termasuk, tetapi tidak terbatas pada: a) Lingkungan pemasangan angkur yang dapat diterima (beton kering atau jenuh; rentang suhu beton) b) Metode pengeboran yang dapat diterima c) Prosedur pembersihan lubang yang diperlukan d) Jenis dan rentang ukuran angkur (batang berdrat atau batang tulangan). Pembersihan lubang dimaksudkan untuk memastikan bahwa puing-puing dan debu pengeboran tidak mengganggu kekuatan lekatan. Tergantung pada kondisi di lapangan, pembersihan lubang mungkin melibatkan pekerjaan untuk menghilangkan sisa-sisa pengeboran dari lubang dengan alat vakum atau udara yang terkompresi, menyikat dinding lubang untuk menghilangkan debu pada permukaan, dan langkah terakhir biasanya dengan udara yang terkompresi. Bilamana pengeboran basah (*wet core drilling)* digunakan, lubang mungkin dibilas dengan air dan kemudian dikeringkan dengan udara yang terkompresi. Jika angkur dipasang di lokasi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	di mana betonnya jenuh air (misalnya, lokasi luar ruangan yang terkena hujan), lumpur pengeboran yang dihasilkan harus dibuang dengan cara lain. Dalam semua kasus, prosedur yang digunakan harus diuraikan dengan jelas oleh pabrikan dalam instruksi pemasangan yang tercetak bersama dengan produk. Instruksi pemasangan yang tercetak ini, yang juga mendeskripsikan batas suhu beton dan keberadaan air selama pemasangan serta prosedur yang diperlukan untuk injeksi bahan adhesif tanpa rongga dan persyaratan perawatan adhesif, merupakan bagian yang tak terpisahkan dari sistem angkur adhesif dan merupakan bagian dari penilaian yang dilakukan sesuai dengan ACI 355.4.
17.8.2.2 Pemasangan angkur adhesif arah horizontal atau miring ke atas untuk menumpu beban tarik tetap harus dilakukan oleh personil yang disertifikasi oleh program sertifikasi yang sesuai. Sertifikasi harus menyertakan ujian tertulis dan ujian kinerja menurut program Sertifikasi Pemasangan Angkur Adhesif ACI/CRSI (*ACI/CRSI Adhesive Anchor Installation Certification*) atau yang setara.	**R17.8.2.2** Sensitivitas angkur adhesif untuk arah pemasangan yang dikombinasikan dengan pembebanan tarik tetap memerlukan sertifikasi pemasang. Sertifikasi mungkin juga sesuai untuk aplikasi terkait keamanan lainnya. Sertifikasi ditetapkan melalui penilaian independen seperti Program Sertifikasi Pemasangan Angkur Adhesif ACI/CRSI (*ACI/CRSI Adhesive Anchor Installation Certification*) atau program serupa dengan persyaratan yang setara. Selain itu, pemasang harus mendapatkan pengarahan melalui pelatihan khusus untuk produk yang ditawarkan oleh pabrikan sistem angkur adhesif yang terkualifikasi.
17.8.2.3 Penerimaan sertifikasi selain dari Sertifikasi Pemasangan Angkur Adhesif ACI/CRSI (*ACI/CRSI Adhesive Anchor Installation Certification*) harus merupakan tanggung jawab perencana ahli bersertifikat.	**R17.8.2.3** Untuk memenuhi 17.8.2.3, program untuk mensertifikasi pemasang yang setara harus menguji pengetahuan dan keterampilan pemasang angkur adhesif oleh panitia penilai yang obyektif dan tidak bias serta penilaian ujian tertulis dan kinerja. Program harus menggambarkan pengetahuan dan keterampilan yang diperlukan untuk memasang sistem angkur komersial yang tersedia. Efektivitas ujian tertulis harus diverifikasi melalui analisis statistik dari pertanyaan dan jawaban. Program yang setara harus memberikan mekanisme yang responsif dan akurat untuk memverifikasi kredensial, yang diperbarui secara berkala.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
17.8.2.4 Angkur adhesif yang dipasang dalam orientasi horizontal atau miring ke atas untuk menahan beban tarik tetap harus secara menerus diinspeksi selama masa pemasangan oleh inspektor yang secara khusus disetujui untuk tujuan tersebut oleh pihak yang berwenang. Inspektor khusus harus melengkapi laporan untuk perencana ahli bersertifikat dan pihak yang berwenang bahwa pekerjaan yang dicakup oleh laporan tersebut telah dilakukan dan bahwa material yang digunakan dan prosedur pemasangan yang digunakan memenuhi dokumen perencanaan yang disetujui dan Instruksi pabrikan yang terkait.	**R17.8.2.4** *Model Code* (IBC 2012) mewajibkan inspeksi khusus untuk semua angkur tanam pascacor. Pemasangan angkur adhesif dalam orientasi horizontal atau miring ke atas menimbulkan tantangan khusus untuk pemasang dan membutuhkan perhatian khusus pada kualitas pelaksanaan serta pengawasan. Diharapkan pemasangan angkur ini diperiksa oleh inspektur khusus bersertifikat yang terus hadir kapan dan dimana pemasangan sedang dilakukan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 18 - STRUKTUR TAHAN GEMPA

18.1 - Ruang lingkup

18.1.1 Pasal 18 berlaku untuk desain struktur beton nonprategang dan prategang pemikul gaya seismik yang dikenakan Kategori Desain Seismik (KDS) B hingga F, yang termasuk didalamnya:

a) Sistem struktural yang ditetapkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik, termasuk diantaranya diafragma, sistem rangka pemikul momen, sistem dinding struktural, dan fondasi.
b) Komponen struktur yang tidak ditetapkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik tetapi diperlukan untuk menahan beban lain saat komponen struktur tersebut mengalami deformasi akibat pengaruh gempa.

18.1.2 Struktur yang didesain sesuai dengan ketentuan Pasal 18 ini diharapkan dapat menahan dampak guncangan gempa melalui terbentuknya respons inelastis yang daktail pada komponen-komponen struktur tertentu yang dipilih.

R18.1 - Ruang lingkup

Pasal 18 tidak berlaku untuk struktur yang masuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) A. Untuk struktur dengan KDS B dan C, Pasal 18 berlaku untuk sistem struktural yang didesain sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Untuk struktur dengan KDS D hingga F, Pasal 18 berlaku baik untuk sistem struktural yang didesain sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik maupun sistem struktural yang tidak didesain sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik.

Pasal 18 berisi ketentuan-ketentuan yang dipertimbangkan sebagai persyaratan minimum untuk struktur yang dicor di tempat atau struktur beton pracetak yang mampu bertahan dari rangkaian guncangan gempa hingga mencapai respons inelastik tanpa mengalami penurunan kekuatan yang signifikan. Integritas struktur dalam rentang respons inelastik harus dipertahankan karena gaya gempa desain yang didefinisikan dalam dokumen seperti SNI 1726, ASCE/SEI 7 , IBC 2012, UBC (ICBO 1997) dan ketentuan NEHRP (FEMA 479) adalah lebih rendah dibandingkan respons linear akibat intensitas gempa yang diperkirakan (FEMA 479; Blume et al., 1961; Clough 1960; Gulkan dan Sozen 1974).

Falsafah desain dalam Pasal 18 disusun sedemikian agar struktur beton cor di tempat dapat merespons guncangan tanah rencana dalam rentang inelastik, yang disertai penurunan kekakuan dan peningkatan energi disipasi tetapi tanpa mengalami penurunan kekuatan yang signifikan. Struktur beton pracetak yang didesain sesuai dengan Pasal 18 harus memiliki perilaku yang menyamai konstruksi beton cor di tempat, kecuali 18.5, 18.9.2.3 dan 18.11.2.2, yang mengizinkan konstruksi pracetak dengan mekanisme kelelehan alternatif. Kombinasi reduksi kekakuan dan peningkatan disipasi energi cenderung mengurangi respons percepatan dan gaya inersia lateral yang diterima oleh struktur dibanding bila struktur tetap berperilaku elastik linear (Gulkan dan Sozen 1974). Dengan demikian,

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	penggunaan gaya-gaya desain yang mewakili pengaruh gempa sebagaimana diatur dalam SNI 1726 mensyaratkan agar akibat perpindahan bolak-balik hingga rentang inelastik sistem pemikul gaya seismik masih mampu mempertahankan sebagian besar kekuatannya. Ketentuan Pasal 18 mengkaitkan pendetailan yang dipersyaratkan dengan tipe struktur dan KDS. Kategori desain seismik langsung diadopsi dari SNI 1726, dan dikaitkan dengan pertimbangan level bahaya seismik, klasifikasi situs tanah, kapasitas hunian, dan penggunaannya. Sebelum SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013, penamaan tingkat risiko seismik rendah, menengah, dan tinggi digunakan untuk membedakan persyaratan pendetailan. Sebagai perbandingan kualitatif kategori desain seismik dan tingkat risiko seismik, dapat mengacu Tabel R5.2.2. Penentuan KDS diatur dalam SNI 1726 (mengacu pada 4.4.6.1).
18.2 - Umum **18.2.1** *Sistem Struktur* **18.2.1.1** Semua struktur harus dikenakan suatu kategori desain seismik (KDS) sesuai 4.4.6.1. **18.2.1.2** Semua komponen struktur harus memenuhi persyaratan Pasal 1 hingga 17 dan Pasal 19 hingga 26. Struktur yang dikenakan KDS B, C, D, E, atau F juga harus memenuhi 18.2.1.3 hingga 18.2.1.7, sesuai keberlakuannya. Bila Pasal 18 bertentangan dengan pasal lain pada standar ini, maka Pasal 18 yang harus diikuti. **18.2.1.3** Struktur yang dikenakan KDS B harus memenuhi 18.2.2. **18.2.1.4** Struktur yang dikenakan KDS C harus memenuhi 18.2.2 dan 18.2.3. **18.2.1.5** Struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F harus memenuhi 18.2.2 hingga 18.2.8, dan 18.12 hingga 18.14. **18.2.1.6** Sistem-sistem struktur yang ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik harus dibatasi hanya untuk	**R18.2 - Umum** Struktur yang masuk dalam KDS A tidak perlu memenuhi Pasal 18 tetapi harus memenuhi semua persyaratan lain yang berlaku dalam standar ini. Struktur yang masuk dalam KDS B hingga F harus memenuhi persyaratan Pasal 18 sebagai tambahan terhadap semua persyaratan lainnya yang berlaku dalam standar ini. Pasal 18.2.1.3 hingga 18.2.1.5 mengidentifikasi bagian-bagian Pasal 18 yang berlaku untuk bangunan berdasarkan KDS-nya, terlepas dari elemen-elemen vertikal yang menjadi bagian dari sistem pemikul gaya seismik yang dipilih. Definisi elemen vertikal yang diizinkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik terdapat dalam SNI 1726. Penjelasan R18.2 selebihnya merangkum maksud SNI 2847 terkait tipe elemen vertikal yang diizinkan pada gedung berdasarkan KDS-nya. Pasal 18.2.1.6 mendefinisikan persyaratan untuk elemen vertikal yang menjadi bagian sistem pemikul gaya seismik. Persyaratan desain dan pendetailan seharusnya disesuaikan dengan tingkat respons inelastik yang diasumsikan dalam perhitungan gaya gempa desain. Istilah “biasa”, “menengah” dan “khusus”

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

sistem-sistem struktur yang telah ditetapkan dalam SNI 1726, atau ditentukan oleh pihak lain yang berwenang. Kecuali untuk KDS A, dimana Pasal 18 tidak berlaku, a) hingga h) di bawah ini harus dipenuhi untuk setiap sistem struktur yang ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik, sebagai tambahan terhadap 18.2.1.3 hingga 18.2.1.5:

a) Sistem rangka pemikul momen biasa harus memenuhi 18.3.
b) Dinding struktural beton bertulang biasa tidak perlu memenuhi ketentuan pendetailan Pasal 18, kecuali yang disyaratkan oleh 18.2.1.3 atau 18.2.1.4.
c) Sistem rangka pemikul momen menengah harus memenuhi 18.4.
d) Dinding struktural pracetak menengah harus memenuhi 18.5.
e) Sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.6 hingga 18.8.
f) Sistem rangka pemikul momen khusus untuk beton pracetak harus memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.9.
g) Dinding struktural khusus harus memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.10.
h) Dinding struktural khusus untuk beton pracetak harus memenuhi 18.2.3 hingga 18.2.8 dan 18.11.

18.2.1.7 Sistem struktur beton bertulang yang tidak memenuhi ketentuan pasal ini diizinkan jika dapat diperlihatkan melalui bukti eksperimental dan analisis bahwa sistem yang diusulkan tersebut memiliki kekuatan dan ketegaran (*toughness*) yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur beton bertulang monolit setara yang memenuhi ketentuan pasal ini.

PENJELASAN

digunakan untuk memfasilitasi kesesuaian antara pendetailan dengan tingkat respons inelastik yang diasumsikan. Untuk setiap elemen atau sistem struktur yang digunakan, istilah “biasa”, “menengah” dan “khusus” mengandung makna adanya peningkatan persyaratan pendetailan dan perancangan agar kapasitas deformasi meningkat sesuai yang diharapkan. Struktur yang masuk dalam KDS B tidak diharapkan terkena guncangan tanah yang kuat, tetapi mungkin terkena guncangan yang rendah pada interval waktu yang panjang. Standar ini menyediakan beberapa persyaratan untuk elemen balok dan kolom pada sistem rangka pemikul momen biasa agar kapasitas deformasi meningkat.

Struktur yang masuk dalam KDS C dapat terkena guncangan tanah menengah *(moderately strong)*. Sistem pemikul gaya seismik yang dipilih, lazimnya terdiri dari beberapa kombinasi dinding struktural biasa cor ditempat, dinding struktural pracetak menengah, dan rangka pemikul momen menengah. SNI 1726 juga memberikan ketentuan untuk penggunaan sistem pemikul gaya seismik lainnya dalam KDS C. Ketentuan 18.2.1.6 mendefinisikan persyaratan untuk sistem apapun yang dipilih.

Struktur yang masuk dalam KDS D, E atau F dapat terkena guncangan tanah yang kuat. Berdasarkan ketentuan SNI ini, sistem struktur beton pemikul gaya seismik yang berlaku untuk KDS D, E atau F adalah rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus atau kombinasi keduanya. Sebagai tambahan terhadap 18.2.2 hingga 18.2.8, sistem struktur tersebut juga diperlukan untuk memenuhi persyaratan inspeksi rutin (26.13.1.4), diafragma dan rangka batang (18.12), fondasi (18.13), dan elemen-elemen pemikul gaya gravitasi yang tidak ditetapkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik (18.14). Ketentuan ini diberlakukan agar struktur memiliki kapasitas deformasi yang memadai untuk menghadapi tuntutan yang tinggi pada kategori desain seismik ini.

SNI 1726 juga mengizinkan penggunaan rangka pemikul momen menengah sebagai bagian dari sistem ganda untuk beberapa

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR | **PENJELASAN**

gedung yang masuk dalam KDS D, E atau F (meskipun tidak direkomendasikan dalam standar ini). SNI 1726 juga mengizinkan desain nonpreskriptif, yang disertai berbagai ketentuan tambahan, penggunaan sistem biasa atau menengah untuk struktur non-gedung pada kategori desain seismik yang lebih tinggi. Hal ini bukan merupakan penggunaan tipikal yang menjadi pertimbangan dalam penulisan pasal ini, tetapi dimanapun istilah "rangka momen biasa atau menengah" digunakan dalam referensi untuk beton bertulang, maka 18.3 atau 18.4 berlaku.

Tabel R18.2 merangkum penerapan ketentuan-ketentuan Pasal 18 untuk berbagai kategori desain seismik. Jika sistem khusus digunakan untuk struktur pada KDS B atau C, maka 18.14 tidak perlu dipenuhi, namun demikian komponen-komponen struktur yang tidak ditetapkan sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik seharusnya tetap diverifikasi agar tetap stabil saat dikenakan perpindahan desain.

Tabel R18.2 – Bagian pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya [1]

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D, E, F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain	Tidak ada	18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5[2], 18.11
Diafragma dan rangka batang (*trusses*)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

[1] Sebagai tambahan terhadap persyaratan Pasal 1 hingga 17, 19 hingga 26, dan ACI 318.2, kecuali yang dimodifikasi oleh Pasal 18. Pasal 14.1.4 juga berlaku pada KDS D, E, dan F
[2] Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Persyaratan perancangan dan pendetailan dalam Pasal 18 didasarkan utamanya pada pengalaman lapangan dan laboratorium untuk struktur gedung beton bertulang monolitik dan struktur gedung beton pracetak yang didesain dan didetail untuk berperilaku seperti struktur gedung monolitik. Ekstrapolasi persyaratan ini untuk tipe struktur beton lainnya, baik struktur beton pracetak maupun cor di tempat, seharusnya didasarkan pada bukti yang didapat dari pengalaman lapangan, pengujian, atau analisis. Kriteria penerimaan untuk rangka pemikul momen yang ditetapkan dalam SNI 7834 atau ACI 374.1 dapat digunakan bersamaan dengan Pasal 18 untuk menunjukkan bahwa kekuatan, kapasitas disipasi energi, dan kapasitas deformasi sistem rangka yang diusulkan paling tidak sama atau melebihi kinerja sistem beton monolit setara. ACI ITG-5.1 memberikan informasi serupa untuk sistem dinding pracetak. Persyaratan keteguhan dalam 18.2.1.7 mengacu pada persyaratan untuk menjaga integritas struktur seluruh sistem pemikul gaya seismik pada perpindahan lateral yang diantisipasi akibat guncangan gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE_R). Tergantung pada karakteristik disipasi energi sistem struktur yang digunakan, perpindahan lateral tersebut mungkin lebih besar daripada perpindahan lateral struktur beton bertulang monolitik yang memenuhi ketentuan preskriptif pada standar ini.
18.2.2 *Analisis dan desain komponen struktural* **18.2.2.1** Interaksi semua komponen struktur dan non struktur yang mempengaruhi respons linier dan nonlinier struktur terhadap guncangan gempa harus ditinjau dalam analisis. **18.2.2.2** Komponen-komponen struktur kaku yang bukan merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik diizinkan untuk digunakan asalkan pengaruhnya pada respons sistem pemikul gempa ditinjau dalam desain struktur. Konsekuensi kegagalan komponen-komponen struktur dan non struktur yang bukan merupakan	**R18.2.2** *Analisis dan desain komponen struktural* – diasumsikan bahwa distribusi kekuatan perlu untuk berbagai komponen sistem pemikul gaya seismik akan di tentukan dari analisis model elastis linier dari sistem yang dibeban gaya terfaktor, seperti yang di syaratkan oleh SNI 1726. Jika analisis respons riwayat waktu nonlinear digunakan, gerakan tanah dasar harus dipilih setelah dilakukan studi detail kondisi situs dan riwayat gempa lokal. Karena dasar desain tahan gempa memperkenankan respons nonlinear, perlu diselidiki stabilitas sistem pemikul gaya seismik, juga interaksinya dengan komponen struktural dan nonstruktural lainnya, terhadap perpindahan lateral yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
bagian sistem pemikul gaya seismik harus ditinjau.	diharapkan sesuai dengan pergerakan tanah maksimum yang dipertimbangkan (MCE_R). Untuk perhitungan perpindahan lateral, dengan asumsi semua komponen struktur sepenuhnya retak cenderung mengarah pada estimasi kemungkinan simpangan antar tingkat (*drift*) yang lebih baik daripada menggunakan kekakuan tidak retak untuk semua komponen. Asumsi analisis yang dijelaskan dalam 6.6.3.1.2 dan 6.6.3.1.3 dapat digunakan untuk memperkirakan defleksi lateral dari sistem gedung beton bertulang .
18.2.2.3 Komponen-komponen struktur yang berada di bawah level penjepitan lateral struktur yang diperlukan untuk menyalurkan gaya-gaya akibat pengaruh gempa ke fondasi harus memenuhi persyaratan-persyaratan Pasal 18 yang konsisten dengan sistem pemikul gaya seismik di atasnya.	Tujuan utama Pasal 18 adalah keamanan struktur. Maksud dari 18.2.2.1 dan 18.2.2.2 adalah untuk memberikan perhatian terhadap pengaruh komponen nonstruktural pada respons struktural dan terhadap bahaya dari jatuhnya benda-benda. Pasal 18.2.2.3 berfungsi sebagai peringatan bahwa dasar struktur seperti yang didefinisikan dalam analisis tidak selalu berada pada fondasi atau permukaan tanah. Detail kolom dan dinding yang menerus kebawah dasar struktur menuju fondasi harus konsisten dengan yang di atas dasar struktur. Dalam memilih ukuran komponen struktur untuk struktur penahan gempa, penting untuk mempertimbangkan masalah-masalah konstruksi yang terkait dengan kerapatan tulangan. Desain harus sedemikian rupa sehingga semua tulangan dapat dirakit dan dipasang di lokasi yang tepat dan beton dapat dituang dan dikonsolidasikan dengan baik. Penggunaan batas atas dari rasio tulangan yang diizinkan dapat menyebabkan masalah konstruksi.
18.2.3 *Pengangkuran pada beton*	
18.2.3.1 Angkur yang menahan gaya yang diakibatkan oleh gempa pada struktur yang dikenakan KDS C, D, E, ataupun F harus memenuhi 17.2.3.	
18.2.4 *Faktor reduksi kekuatan*	**R18.2.4** *Faktor reduksi kekuatan*
18.2.4.1 Faktor reduksi kekuatan harus sesuai dengan Pasal 21.	**R18.2.4.1** Pasal 21 berisi faktor reduksi kekuatan untuk semua komponen struktur, *joint* dan sambungan pada struktur

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	penahan gempa, termasuk persyaratan khusus dalam 21.2.4 untuk gedung yang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan dinding pracetak menengah.
18.2.5 *Beton pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus* **18.2.5.1** Kekuatan tekan beton yang disyaratkan untuk sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus harus sesuai dengan persyaratan sistem pemikul gaya seismik khusus berdasarkan Tabel 19.2.1.1.	**R18.2.5** *Beton pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus* – Persyaratan-persyaratan pasal ini mengacu pada kualitas beton pada rangka dan dinding yang menahan gaya gempa. Kekuatan tekan maksimum yang disyaratkan untuk beton ringan dapat digunakan dalam perhitungan desain struktural dibatasi hingga 35 MPa, terutama karena kurangnya data lapangan dan eksperimental pada perilaku komponen yang dibuat dari beton ringan yang mengalami perpindahan bolak-balik dalam daerah nonlinear. Jika terdapat bukti yang meyakinkan dihasilkan pada penggunaan tertentu, batasan maksimum kekuatan tekan yang disyaratkan untuk beton ringan dapat ditingkatkan ke tingkat yang telah terbukti.
18.2.6 *Tulangan pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus* **18.2.6.1** Tulangan pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus harus sesuai dengan persyaratan sistem pemikul gaya seismik khusus berdasarkan 20.2.2.	**R18.2.6** *Tulangan pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus* – penggunaan tulangan longitudinal dengan kekuatan yang jauh lebih tinggi dari yang di asumsikan dalam desain akan menyebabkan tegangan geser dan lekatan yang lebih tinggi pada saat momen leleh terjadi. Kondisi ini menyebabkan kegagalan getas dalam geser atau lekatan dan harus dihindari walaupun kegagalan tersebut terjadi pada beban yang lebih tinggi dari yang diantisipasi dalam desain. Oleh karena itu, batas atas terletak pada kekuatan leleh aktual dari baja tulangan (mengacu pada 20.2.2.5). ASTM A706M untuk baja tulangan paduan-rendah (*low-alloy*) termasuk didalamnya Mutu 420 dan Mutu 550; namun hanya Mutu 420 secara umum diperbolehkan karena data yang tidak cukup untuk mengkonfirmasi penerapan standar yang ada untuk struktur yang menggunakan mutu yang lebih tinggi. Pasal 18.2.1.7 mengizinkan alternatif material seperti ASTM A706M Mutu 550 jika hasil uji dan analisis mendukung penerapannya.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	Persyaratan untuk kekuatan tarik lebih besar dari kekuatan leleh tulangan (20.2.2.5) berdasarkan pada asumsi bahwa kemampuan komponen struktural untuk menghasilkan kapasitas rotasi inelastis merupakan fungsi dari panjang daerah leleh sepanjang sumbu komponen. Dalam interpretasi hasil eksperimental, panjang daerah leleh dikaitkan dengan besaran relatif dari momen nominal dan leleh (ACI 352R). Menurut interpretasi ini, semakin besar rasio momen nominal terhadap momen leleh, semakin panjang daerah plastis. Pasal 20 mensyaratkan bahwa rasio dari kekuatan tarik aktual terhadap kekuatan leleh aktual tidak kurang dari 1,25. Pembatasan nilai f_y dan f_{yt} berlaku untuk semua tipe tulangan transversal, termasuk spiral, sengkang pengekang lingkaran, sengkang pengekang persegi, dan ikat silang. Pembatasan pada nilai f_y dan f_{yt} dalam 20.2.2.4 untuk menghitung kekuatan geser nominal bertujuan untuk membatasi lebar retak geser. Hasil penelitian (Budek et al. 2002; Muguruma dan Watanabe 1990; Sugano et al. 1990) menunjukkan bahwa kekuatan leleh yang lebih tinggi secara efektif dapat digunakan sebagai tulangan pengekang seperti yang ditentukan dalam 18.7.5.4.
18.2.7 *Sambungan mekanis pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus*	**R18.2.7** *Sambungan mekanis pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus* – Pada struktur yang mengalami deformasi inelastik saat gempa, tegangan tarik pada tulangan dapat mendekati kekuatan tarik tulangan. Persyaratan untuk sambungan mekanis Tipe 2 dimaksudkan untuk menghindari kegagalan sambungan (*splice)* ketika tulangan dikenakan tingkat tegangan yang diperkirakan di daerah pelelehan. Sambungan mekanis Tipe 1 tidak perlu memenuhi persyaratan yang lebih ketat seperti sambungan mekanis Tipe 2, dan mungkin tidak mampu menahan tingkat tegangan yang diperkirakan di daerah pelelehan. Lokasi sambungan mekanis Tipe 1 dibatasi karena tegangan tarik tulangan pada daerah leleh dapat melebihi persyaratan kekuatan pada 25.5.7. Pembatasan pada sambungan mekanis Tipe 1 berlaku untuk semua tulangan yang

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	menahan pengaruh gempa, termasuk tulangan transversal. Praktik pendetailan yang direkomendasikan menghindari penggunaan sambungan tulangan pada daerah yang berpotensi mengalami leleh pada komponen struktur yang menahan pengaruh gempa. Jika penggunaan sambungan mekanis pada daerah berpotensi leleh tidak dapat dihindari, harus ada dokumentasi pada karakteristik kekuatan aktual dari batang yang disambung, pada karakteristik gaya-perpindahan dari sambungan tulangan, dan kemampuan sambungan mekanis Tipe 2 digunakan untuk memenuhi persyaratan kinerja yang disyaratkan. Meskipun sambungan mekanis seperti yang didefinisikan oleh 18.2.7 diperkenankan sambungan tidak dipasang selang-seling (*staggered*), sambungan selang-seling dianjurkan dan mungkin diperlukan untuk kemudahan konstruksi atau memberikan ruang yang cukup di sekitar sambungan untuk pemasangan atau untuk memenuhi persyaratan spasi bersih.
18.2.7.1 Sambungan mekanis harus diklasifikasikan sebagai sambungan mekanis Tipe 1 atau Tipe 2, yaitu: a) Sambungan mekanis Tipe 1 harus memenuhi 25.5.7; b) Sambungan mekanis Tipe 2 harus memenuhi 25.5.7 dan harus memiliki kekuatan tarik yang minimal sama dengan kekuatan tarik spesifikasi batang tulangan yang disambung.	**R18.2.7.1** Persyaratan tambahan untuk sambungan mekanis Tipe 2 bertujuan untuk menghasilkan sambungan mekanis yang mampu mempertahankan regangan inelastis melalui siklus majemuk.
18.2.7.2 Sambungan mekanis Tipe 1 tidak boleh digunakan dalam zona sejarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka kolom atau muka balok untuk sistem rangka pemikul momen khusus atau dari penampang kritis dimana pelelehan tulangannya dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi inelastis yang disebabkan gaya gempa. Sambungan mekanis Tipe 2 diizinkan untuk digunakan pada sebarang lokasi, kecuali sebagaimana disebutkan pada 18.9.2.1c).	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.2.8 *Sambungan las pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus*	**R18.2.8** *Sambungan las pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktur khusus*
18.2.8.1 Sambungan las pada tulangan yang memikul gaya akibat gempa harus memenuhi 25.5.7 dan tidak boleh digunakan dalam zona sejarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka kolom atau muka balok untuk sistem rangka pemikul momen khusus atau dari penampang dimana pelelehan tulangannya dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral inelastis yang disebabkan gaya gempa.	**R18.2.8.1** Pengelasan tulangan harus sesuai dengan AWS D1.4 seperti yang disyaratkan dalam Pasal 26. Lokasi sambungan yang dilas dibatasi karena tegangan tarik tulangan pada daerah leleh dapat melebihi kekuatan yang disyaratkan dalam 25.5.7. Pembatasan pada sambungan las ini berlaku untuk semua tulangan yang menahan pengaruh gempa, termasuk tulangan transversal.
18.2.8.2 Pengelasan sengkang, ikat silang, sisipan, atau elemen-elemen lainnya yang serupa pada tulangan longitudinal perlu tidak diizinkan.	**R18.2.8.2** Pengelasan batang tulangan silang dapat menyebabkan perapuhan logam (*embrittlement*) lokal pada baja. Jika pengelasan batang tulangan silang digunakan untuk memfasilitasi fabrikasi atau penempatan tulangan, itu harus dilakukan hanya pada batang yang ditambahkan untuk tujuan tersebut. Larangan pengelasan batang tulangan silang tidak berlaku pada batang yang dilas dengan operasi pengelasan selalu dalam kendali pihak yang berkompeten, seperti dalam pembuat tulangan kawat las.
18.3 - Sistem rangka pemikul momen biasa	**R18.3 - Sistem rangka pemikul momen biasa**
18.3.1 *Ruang Lingkup*	Pasal ini hanya berlaku untuk rangka momen biasa yang yang dikenakan KDS B. Persyaratan tulangan balok bertujuan untuk meningkatkan kontinuitas dalam komponen rangka dan dengan demikian meningkatkan tahanan gaya lateral dan integritas struktur; persyaratan ini tidak berlaku untuk rangka momen pelat-kolom. Persyaratan untuk kolom bertujuan untuk memberikan kapasitas tambahan untuk menahan geser pada kolom dengan proporsi yang tanpanya akan membuat lebih rentan terhadap kegagalan geser terkena beban gempa.
18.3.1.1 Pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen biasa yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.	
18.3.2 Balok harus memiliki paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik f_y pada muka tumpuan.	
18.3.3 Kolom yang mempunyai panjang tak tertumpu $l_u \leq 5c_1$ harus memiliki ϕV_n setidaknya nilai terendah di antara a) dan b):	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Gaya geser yang terkait dengan terjadinya kekuatan momen nominal M_n pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom akibat lentur yang berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi. b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk E, dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E.	
18.4 – Sistem rangka pemikul momen menengah	**R18.4 – Sistem rangka pemikul momen menengah**
18.4.1 *Ruang lingkup*	Tujuan dari persyaratan dalam 18.4.2.3 dan 18.4.3.1 adalah untuk mengurangi resiko kegagalan geser balok dan kolom selama gempa. Dua opsi disediakan untuk menentukan gaya geser terfaktor.
18.4.1.1 Pasal ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen menengah termasuk pelat dua arah tanpa balok yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.	
18.4.2 *Balok*	**R18.4.2** *Balok* – Menurut 18.4.2.3 a), gaya geser terfaktor ditentukan dari diagram badan-bebas diperoleh dengan memotong ujung-ujung balok, dengan momen ujung yang diasumsikan sama dengan kekuatan momen nominal dalam lentur kurvatur balik, baik searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam. Gambar R18.4.2 menunjukkan hanya satu dari dua opsi yang harus dipertimbangkan untuk setiap balok. Untuk menentukan geser maksimum balok, diasumsikan bahwa kekuatan momen nominalnya (ϕ = 1,0 untuk momen) yang dihasilkan secara bersamaan di kedua ujung jarak bersihnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar R18.4.2, geser yang terkait dengan kondisi ini $[(M_{n\ell}+M_{nr})/\ell_n]$ ditambahkan secara aljabar pada geser akibat beban gravitasi terfaktor untuk mendapatkan gaya geser desain balok. Sebagai contoh ditunjukkan, kedua beban mati w_D dan beban hidup w_L diasumsikan terdistribusi secara merata. Efek dari E yang bekerja secara vertikal harus dimasukkan jika diperlukan oleh SNI 1726.
8.4.2.1 Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik f_y pada muka tumpuan.	
18.4.2.2 Kekuatan momen positif pada muka *joint* tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan momen negatif maupun positif pada sebarang penampang sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu join pada bentang balok yang ditinjau.	
18.4.2.3 ϕV_n tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara (a) dan (b): (a) Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya M_n pada muka joint di setiap ujung balok akibat lentur berbalik arah	18.4.2.2(b) basis V_u pada kombinasi beban termasuk pengaruh gempa E, harus digandakan. Sebagai contoh, kombinasi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

(kurvatur ganda) dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor

(b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain termasuk E, dengan E ditetapkan sebesar dua kali nilai yang dipersyaratkan SNI 1726.

18.4.2.4 Pada kedua ujung balok, sengkang tertutup harus disediakan sepanjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

a) $d/4$
b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekang
d) 300 mm

18.4.2.5 Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.

18.4.2.6 Pada balok yang memiliki gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g f_c'/10$, tulangan sengkang perlu berdasarkan 18.4.2.5 harus memenuhi 25.7.2.2 dan salah satu di antara 25.7.2.3 atau 25.7.2.4.

PENJELASAN

beban yang didefinisikan oleh Pers. (5.3.1.e) akan menjadi

$$U = 1{,}2D + 2{,}0E + 1{,}0L$$

dengan E adalah nilai yang ditentukan oleh SNI 1726. Faktor 1,0 diterapkan pada L boleh dikurangi menjadi 0,5, sesuai dengan 5.3.3.

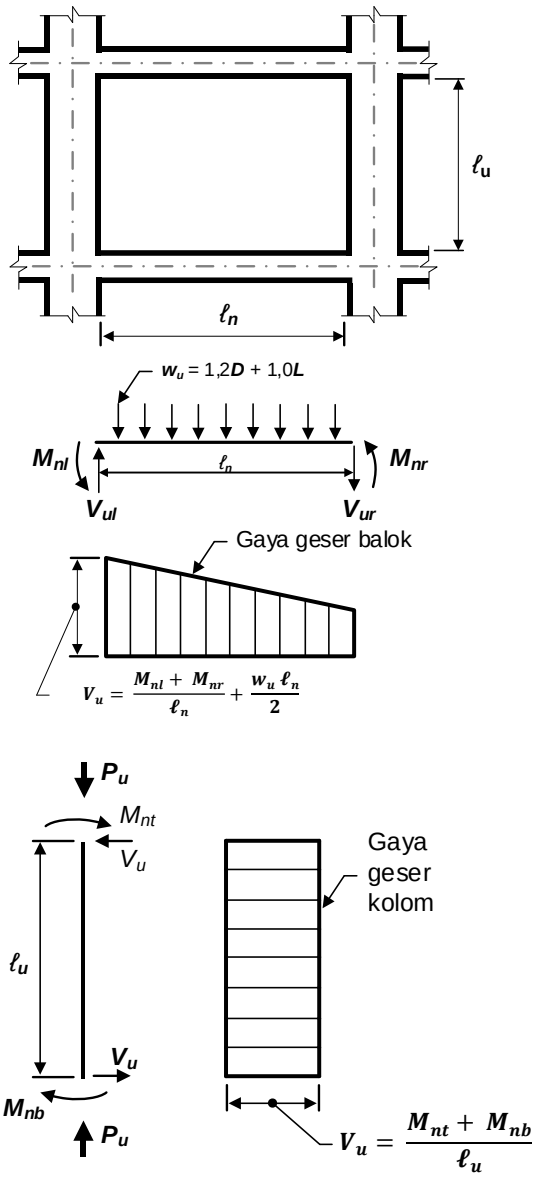
Tulangan transversal pada ujung balok diperlukan berupa sengkang pengekang. Pada kebanyakan kasus, tulangan transversal yang disyaratkan oleh 18.4.2.3 untuk gaya geser desain lebih dari yang disyaratkan pada 18.4.2.4.

Balok dapat dikenai gaya tekan aksial akibat prategang atau beban yang berkerja. Persyaratan tambahan 18.4.2.6 dimaksudkan untuk memberikan dukungan lateral untuk tulangan longitudinal balok.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R18.4.2 – Geser desain untuk rangka momen menengah

18.4.3 *Kolom*

18.4.3.1 ϕV_n tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara a) dan b):

a) Jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya M_n pada muka joint di setiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor, termasuk E, dengan $\Omega_0 E$ sebagai pengganti E.

R18.4.3 *Kolom* – menurut 18.4.3.1a), gaya geser terfaktor yang ditentukan dari diagram badan-bebas diperoleh dengan memotong ujung kolom, dengan momen nominal yang bekerja dalam lentur kurvatur balik, baik searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam. Gambar R18.4.2 menunjukkan hanya satu dari dua opsi yang harus dipertimbangkan untuk setiap kolom. Gaya aksial terfaktor P_u harus dipilih untuk menghasilkan kekuatan momen terbesar kolom didalam rentang gaya aksial desain. 18.4.3.1 b) untuk kolom mirip dengan 18.4.2.3 b) untuk balok kecuali basis V_u pada kombinasi beban termasuk pengaruh gempa E, dengan E meningkat oleh faktor kekuatan lebih Ω_0 daripada

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

18.4.3.2 Kolom bundar harus diberi tulangan spiral sesuai dengan Pasal 10 atau harus memenuhi persyaratan 18.4.3.3 hingga 18.4.3.5. Ketentuan 18.4.3.6 harus diberlakukan untuk semua kolom yang menumpu komponen struktur kaku tak menerus.

18.4.3.3 Pada kedua ujung kolom, sengkang tertutup harus dipasang dengan spasi s_o sepanjang ℓ_o dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga d):

a) 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
b) 24 kali diameter batang tulangan sengkang pengekang
c) Setengah dimensi penampang terkecil kolom
d) 300 mm

Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari e), f) dan g):

e) Seperenam tinggi bersih kolom
f) Dimensi maksimum penampang kolom
g) 450 mm

18.4.3.4 Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari muka joint.

18.4.3.5 Di luar panjang ℓ_o, spasi tulangan transversal harus memenuhi 10.7.6.5.2.

18.4.3.6 Kolom-kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus dipasang tulangan sengkang tertutup dengan spasi s_o, sesuai 18.4.3.3 di sepanjang tinggi penuh kolom-kolom pada tingkat yang terdapat diskontinuitas jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur kolom-kolom tersebut yang terkait dengan pengaruh gempa melebihi $A_g f'_c / 10$. Jika gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal pada sistem pemikul gaya seismik, batasan $A_g f'_c / 10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f'_c / 4$.

PENJELASAN

faktor 2,0. Pada SNI 1726, Ω_o **= 3,0** untuk sistem rangka pemikul momen menengah. Faktor untuk kolom relatif lebih tinggi terhadap balok karena kekhawatiran yang lebih besar mengenai kegagalan geser pada kolom.

Tulangan transversal pada ujung kolom disyaratkan spiral atau sengkang pengekang. Jumlah tulangan transversal pada ujung harus memenuhi keduanya 18.4.3.1 dan 18.4.3.2. Perhatikan bahwa sengkang pengekang membutuhkan kait seismik pada kedua ujungnya.

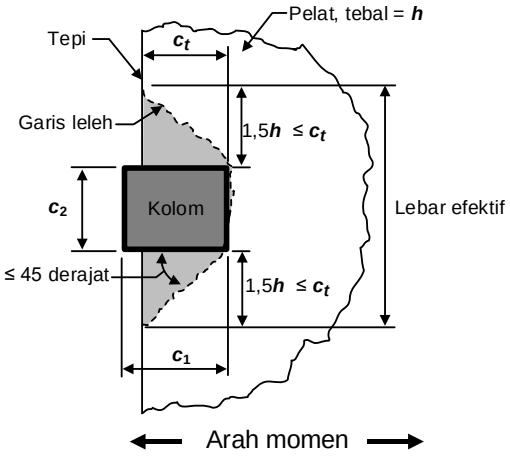
Dinding struktural diskontinu dan komponen kaku lainnya dapat memikul gaya aksial yang besar pada pendukung kolom selama gempa. Persyaratan tulangan transversal pada 18.4.3.6 adalah untuk meningkatkan keteguhan (*toughness*) untuk keperluan (*demand*) yang diantisipasi. Gaya tekan aksial terfaktor yang terkait dengan pengaruh gempa harus menggunakan faktor Ω_o jika disyaratkan oleh SNI 1726.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

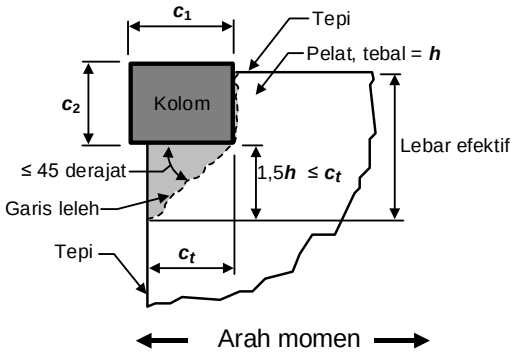
STANDAR	PENJELASAN
Tulangan transversal harus diteruskan ke atas dan ke bawah dari kolom yang ditinjau sesuai 18.7.5.6b).	
18.4.4 Sambungan balok kolom (*joint)*	
18.4.4.1 Sambungan balok-kolom harus memiliki tulangan transversal yang memenuhi Pasal 15.	
18.4.5 *Pelat dua arah tanpa balok*	**R18.4.5** Pelat *dua arah tanpa balok* – 18.4.5 berlaku untuk pelat dua arah tanpa balok, seperti pelat datar (*flat plates*). Penggunaan kombinasi beban pada Pers. (5.3.1e) dan (5.3.1g) dapat menyebabkan momen yang memerlukan tulangan atas dan tulangan bawah pada tumpuan.
18.4.5.1 Momen pelat terfaktor pada tumpuan termasuk pengaruh gempa, E, harus ditentukan untuk kombinasi beban yang diberikan dalam Pers. (5.3.1e) dan (5.3.1g). Tulangan perlu untuk menahan M_{sc} harus ditempatkan dalam lajur kolom sesuai 8.4.1.5.	Momen $M_{sc,}$ untuk kombinasi beban yang diberikan dengan E bekerja pada arah horizontal merujuk ke bagian dari momen terfaktor pelat yang diseimbangkan oleh komponen pendukung pada joint. Ini belum tentu sama dengan jumlah momen desain pada pendukung untuk kombinasi beban termasuk pengaruh gempa. Sesuai dengan 8.4.2.3.3, hanya sebagian kecil momen M_{sc} yang dimasukkan pada lebar efektif pelat. Untuk sambungan sudut dan tepi, tulangan lentur tegak lurus ke tepi tidak dianggap sepenuhnya efektif kecuali ditempatkan dalam lebar efektif pelat (ACI 352.1R; Pan and Moehle 1989). Lihat Gambar R18.4.5.1.
18.4.5.2 Tulangan yang ditempatkan dalam lebar efektif sesuai 8.4.2.3.3 harus didesain untuk menahan $\gamma_f M_{sc}$. Lebar efektif pelat untuk sambungan eksterior dan sudut tidak melewati muka kolom dengan jarak lebih dari c_t diukur tegak lurus terhadap bentang pelat yang ditinjau.	
18.4.5.3 Setidaknya setengah tulangan pada lajur kolom di tumpuan harus ditempatkan dalam lebar efektif pelat sesuai 8.4.2.3.3.	
18.4.5.4 Setidaknya seperempat tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom harus menerus sepanjang bentang.	
18.4.5.5 Tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang dari sepertiga tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom.	
18.4.5.6 Setidaknya setengah dari semua tulangan bawah lajur tengah dan semua tulangan bawah lajur kolom di tengah bentang harus menerus dan harus mencapai f_y di muka tumpuan sesuai 8.10.3.2.1.	
18.4.5.7 Pada tepi pelat yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus disalurkan di muka tumpuan sesuai 8.10.3.2.1.	Penggunaan ketentuan dalam 18.4.5 ditunjukkan pada Gambar R18.4.5.2 dan R18.4.5.3.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

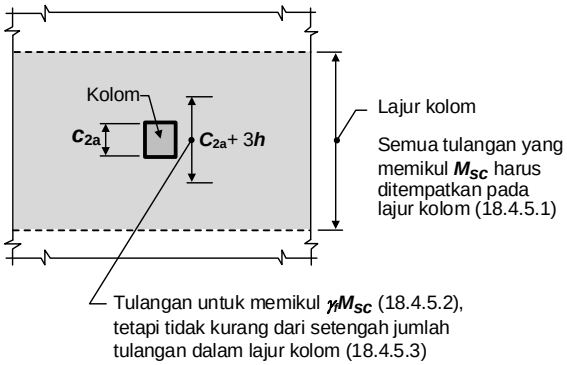


(a) Sambungan tepi



(b) Sambungan sudut

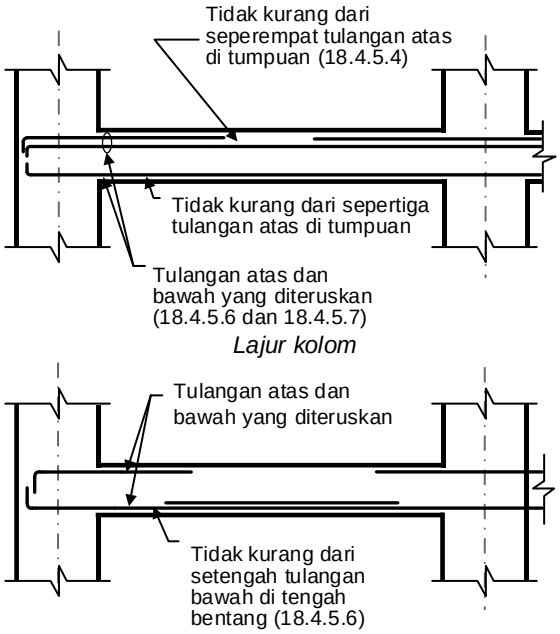
Gambar R18.4.5.1 – Lebar efektif untuk penempatan tulangan di sudut dan tepi sambungan



Catatan : Berlaku untuk kedua tulangan atas dan bawah

Gambar R18.4.5.2 – Lokasi tulangan di pelat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R18.4.5.3 – Penempatan tulangan pada pelat**
18.4.5.8 Pada penampang kritis di sekitar kolom sesuai 22.6.4.1, geser dua arah akibat beban gravitasi terfaktor tidak boleh melebihi $\mathbf{0,4\phi}V_c$, dimana V_c harus dihitung sesuai 22.6.5. Persyaratan ini tidak perlu diikuti jika pelat memenuhi 18.14.5.	**R18.4.5.8** Persyaratan berlaku untuk pelat dua arah yang merupakan bagian dari system penahan gaya seismik. Sambungan pelat-kolom pada tes laboratorium (Pan dan Moehle 1989) menunjukkan penurunan daktilitas perpindahan lateral ketika geser pada sambungan kolom melebihi batas yang direkomendasikan. Sambungan pelat-kolom juga harus memenuhi persyaratan kekuatan geser dan momen pada Pasal 8 akibat beban kombinasi termasuk pengaruh gempa.
18.5 – Dinding struktural pracetak menengah	**R18.5 – Dinding struktural pracetak menengah**
18.5.1 Ruang lingkup	Sambungan antara panel dinding pracetak atau antara panel dinding dan fondasi disyaratkan untuk menahan pergerakan gempa dan agar menghasilkan kelelehan disekitar sambungan. Ketika sambungan mekanis Tipe 2 digunakan untuk menghubungkan tulangan utama secara langsung, kekuatan *probable* dari sambungan tidak boleh kurang dari 1,5 kali dari kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan.
18.5.1.1 Pasal ini berlaku untuk dinding struktural pracetak menengah yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik.	
18.5.2 *Umum*	
18.5.2.1 Pada sambungan antara panel dinding, atau antara panel dinding dan fondasi, pelelehan harus dibatasi pada elemen baja atau tulangan.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
18.5.2.2 Elemen sambungan yang tidak didesain leleh, kekuatan perlunya harus didasarkan pada $1{,}5S_y$ dari bagian sambungan yang leleh.	
18.5.2.3 Pada struktur yang masuk dalam KDS D, E, atau F, pilar dinding harus didesain memenuhi 18.10.8 atau 18.14.	
18.6 - Balok sistem rangka pemikul momen khusus	**R18.6 - Balok sistem rangka pemikul momen khusus**
18.6.1 Ruang lingkup	**R18.6.1** Ruang lingkup – Pasal ini berlaku untuk balok rangka momen khusus yang menahan beban lateral yang diinduksi oleh pergerakan gempa. Pada standar sebelumnya, setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi ($A_g f'_c / 10$) akibat setiap kombinasi beban harus diproporsionalkan dan didetailkan seperti yang dijelaskan dalam 18.7. Pada SNI 2847 ini, semua persyaratan untuk balok adalah terdapat dalam 18.6 terlepas dari besarnya gaya tekan aksial.
18.6.1.1 Pasal ini berlaku untuk balok-balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser.	Standar ini ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh joint balok-kolom. Diperkenankan balok dan kolom dipasang miring selama sistem yang dihasilkan berperilaku sebagai rangka – yaitu, tahanan lateral disediakan terutama oleh transfer momen di antara balok dan kolom daripada aksi *strut* atau bresing. Pada sistem rangka pemikul momen khusus, diizinkan untuk mendesain balok untuk menahan kombinasi gaya momen dan aksial yang terjadi pada balok yang bekerja keduanya sebagai komponen rangka momen dan sebagai kord atau kolektor dari diafragma. Diperkenankan balok sistem rangka pemikul momen khusus diteruskan sebagai kantilever diluar kolom, tetapi kantilever seperti itu bukan bagian dari sitem rangka pemikul momen khusus yang membentuk sistem pemikul gaya seismik. diperkenankan balok sistem rangka pemikul momen khusus yang merangka pada elemen batas dinding jika elemen batas ditulangi sebagai kolom sistem rangka pemikul momen khusus sesuai dengan 18.7. Rangka bresing beton, dimana tahanan lateral ditahan terutama oleh gaya aksial pada balok dan kolom,
18.6.1.1 Balok-balok sistem rangka pemikul momen khusus harus merangka ke kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus sesuai 18.7.	

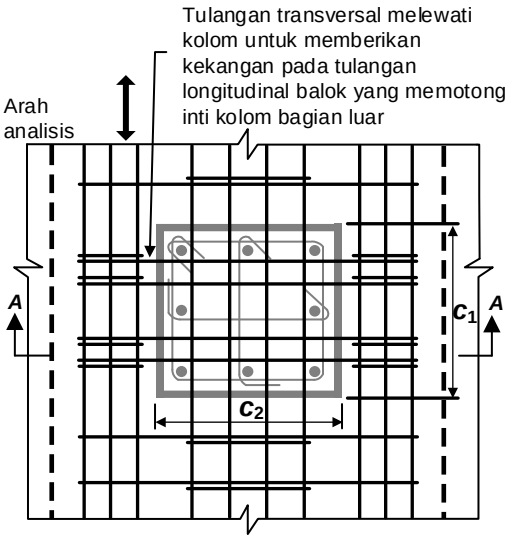
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	bukan merupakan sistem pemikul gaya seismik yang berlaku.
18.6.2 *Batasan dimensi*	**R18.6.2** *Batasan dimensi* – Bukti eksperimental (Hirosawa 1997) menunjukkan bahwa, akibat perpindahan bolak-balik di dalam rentang nonlinear, perilaku komponen struktur kontinu yang memiliki rasio panjang terhadap tinggi kurang dari 4 berbeda secara signifikan dari perilaku komponen struktur yang relatif ramping. Aturan desain yang berasal dari pengalaman dengan komponen struktur yang relatif ramping tidak berlaku secara langsung untuk komponen struktur dengan rasio panjang terhadap tinggi kurang dari 4, terutama berhubungan dengan kekuatan geser.
18.6.2.1 Balok harus memenuhi (a) hingga (c): a) Bentang bersih, ℓ_n, harus minimal $4d$ b) Lebar penampang b_w, harus sekurangnya nilai terkecil dari $0{,}3h$ dan 250 mm c) Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0{,}75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.	Batasan geometrik yang ditunjukkan dalam 18.6.2.1(b) dan (c) berasal dari praktik dan penelitian (ACI 352R) pada rangka beton bertulang yang menahan gaya gempa. Batasan dalam 18.6.2.1(c) menentukan lebar balok maksimum yang secara efektif dapat mentransfer gaya ke sambungan balok-kolom. Contoh lebar efektif maksimum balok ditunjukkan dalam Gambar R18.6.2.

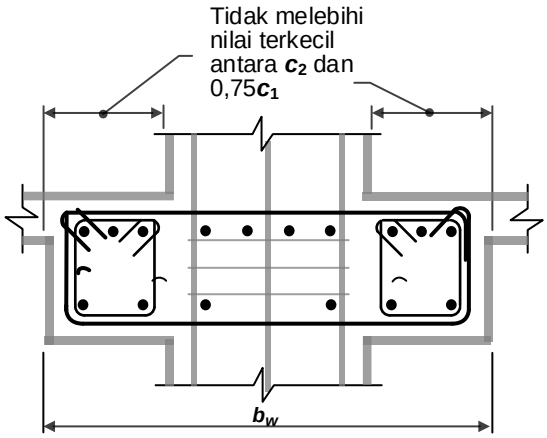
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



DENAH



Catatan:
Tulangan transversal kolom di atas dan di bawah *joint* balok-kolom tidak ditampilkan untuk kejelasan

POTONGAN A-A

Gambar R18.6.2 – Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal

18.6.3 *Tulangan longitudinal*

18.6.3.1 Balok-balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Pada sebarang penampang, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan 9.6.1.2, dan rasio tulangan ρ tidak boleh melebihi 0,025, baik untuk tulangan atas maupun bawah.

R18.6.3 *Tulangan longitudinal*

R18.6.3.1 Batasan rasio tulangan 0,025 didasarkan terutama pada pertimbangan kerapatan tulangan dan, secara langsung, membatasi tegangan geser balok dengan proporsi tipikal.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.6.3.2 Kekuatan momen positif pada muka *joint* harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka *joint* tersebut. Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua *joint*.	
18.6.3.3 Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengekang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi a) hingga c): a) Dalam *joint* b) Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint* c) Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik	**R18.6.3.3** Sambungan *(splices)* tulangan lewatan dilarang disepanjang panjang dimana leleh lentur (sendi plastis) diantisipasi karena sambungan tersebut tidak dapat diandalkan dalam kondisi beban siklik dalam daerah inelastis. Tulangan transversal untuk sambungan lewatan pada setiap lokasi adalah wajib karena selimut beton berpotensi terkelupas (*spalling*) dan dibutuhkan untuk mengekang sambungan.
18.6.3.4 Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las harus memenuhi 18.2.8.	
18.6.3.5 Balok prategang harus memenuhi (a) hingga (d), kecuali bila digunakan pada sistem rangka pemikul momen khusus sesuai 18.9.2.3: a) Prategang rata-rata f_{pc} yang dihitung untuk luas yang sama dengan dimensi terkecil penampang komponen struktur balok yang dikalikan dengan dimensi penampang tegak lurusnya tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 3,5 MPa dan $f'_c/10$. b) Pada daerah yang berpotensi mengalami sendi plastis, harus digunakan baja prategang tanpa lekatan. Regangan yang diperhitungkan pada baja prategang akibat perpindahan desain harus kurang dari 0,01.	**R18.6.3.5** Standar ini dibuat, sebagian, berdasarkan pengamatan kinerja gedung pada gempa (ACI 423.3R). Untuk menghitung tegangan rata-rata prategang, dimensi penampang terkecil pada balok biasanya adalah dimensi badan (web), dan tidak bertujuan untuk mengacu pada tebal sayap (*flens*). Di daerah yang berpotensi terjadi sendi plastis, batasan regangan dan persyaratan tendon tanpa lekatan bertujuan untuk mencegah fraktur beton akibat deformasi inelastik gempa. Perhitungan regangan baja prategang disyaratkan mengingat mekanisme inelastik yang diantisipasi struktur. Untuk baja prategang tanpa lekatan sepanjang bentang balok penuh, regangan umumnya akan jauh di bawah batas yang disyaratkan. Untuk baja prategang dengan panjang tanpa lekatan yang pendek melalui atau berdekatan dengan sambungan, regangan tambahan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
c) Baja prategang tidak boleh menyumbangkan lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negatif pada penampang kritis di daerah sendi plastis dan harus diangkur pada atau melampaui muka sisi luar *joint*. d) Pengangkuran tendon pasca tarik yang memikul gaya gempa harus mampu memfasilitasi tendon dalam menahan 50 siklus pembebanan, dengan nilai gaya tulangan prategang di antara 40 hingga 85 persen kekuatan tarik baja prategang yang ditetapkan.	akibat deformasi gempa dihitung sebagai hasil kali tinggi sumbu netral dan penjumlahan rotasi sendi plastis pada *joint*, dibagi dengan panjang tanpa lekatan. Pembatasan kekuatan lentur yang disediakan oleh tendon didasarkan pada hasil studi analitis dan eksperimental (Ishizuka dan Hawkins 1987; Park dan Thompson 1977). Meskipun kinerja seismik yang memuaskan dapat diperoleh dengan jumlah baja prategang yang lebih besar, pembatasan ini disyaratkan untuk memungkinkan penggunaan faktor modifikasi respons amplifikasi defleksi yang sama seperti yang ditentukan dalam model untuk rangka momen khusus tanpa baja prategang. Rangka momen khusus prategang umumnya akan mengandung baja tulangan kontinu yang diangkur dengan penutup yang memadai pada atau di luar muka eksterior setiap lokasi sambungan balok-kolom pada ujung rangka momen. Tes fatik untuk 50 siklus beban antara 40 hingga 80 persen dari kekuatan tarik yang disyaratkan untuk tulangan prategang sudah berjalan lama (ACI 423.3R; ACI 423.7). Batasan 80 persen meningkat menjadi 85 persen sesuai dengan batas 1 persen pada regangan tulangan prategang. Pengujian atas berbagai daerah tegangan ini bertujuan untuk secara konservatif mensimulasikan efek gempa kuat *(severe).* Detail tambahan tentang prosedur pengujian disajikan dalam ACI 423.7.
18.6.4 *Tulangan transversal* **18.6.4.1** Sengkang pengekang harus dipasang pada balok di daerah berikut: a) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok b) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik. **18.6.4.2** Bila diperlukan sengkang pengekang, batang tulangan longitudinal	**R18.6.4** *Tulangan transversal* – Tulangan transversal disyaratkan terutama untuk kekangan beton dan mempertahankan pendukung lateral untuk batang tulangan pada daerah dimana kelelehan terjadi. Contoh sengkang tertutup yang sesuai untuk balok ditunjukkan pada Gambar R18.6.4. Pada standar sebelumnya, batas atas pada spasi sengkang pengekang paling kecil adalah $d/4$, diameter delapan untuk batang longitudinal, 24 kali diameter sengkang pengekang, dan 300 mm. Batas atas diubah pada ACI edisi 2011 karena kekhawatiran tentang kemampuan batang longitudinal untuk menahan tekuk dan pengekangan pada balok yang lebih besar.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus diberi tumpuan lateral yang memenuhi 25.7.2.3 atau 25.7.2.4. Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm. Tulangan longitudinal samping yang disyaratkan 9.7.2.3 tidak perlu tertumpu secara lateral.

18.6.4.3 Sengkang pengekang pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan: yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempa pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang-seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur. Jika batang tulangan longitudinal yang ditahan oleh ikat silang dikekang oleh pelat hanya pada satu sisi komponen struktur lentur, maka kait 90 derajat dari ikat silang harus ditempatkan pada sisi tersebut.

18.6.4.4 Sengkang pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c):

a) $d/4$
b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping yang disyaratkan 9.7.2.3
c) 150 mm

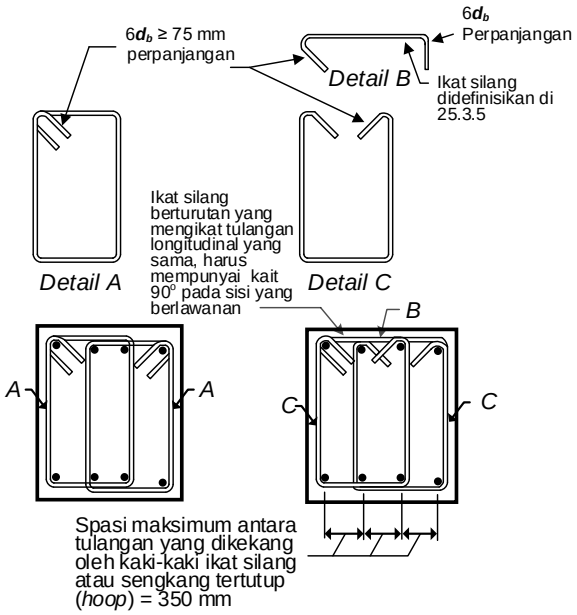
18.6.4.5 Bila diperlukan sengkang pengekang, sengkang pengekang tersebut harus didesain untuk menahan geser sesuai 18.6.5.

18.6.4.6 Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.

18.6.4.7 Pada balok yang mengalami gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g f'_c/10$ harus dipasang sengkang pengekang yang memenuhi 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 sepanjang jarak yang

PENJELASAN

Dalam kasus komponen dengan kekuatan yang bervariasi sepanjang rentang atau komponen beban tetap yang mewakili sebagian besar dari total beban desain, konsentrasi rotasi inelastik dapat terjadi di sepanjang bentang tersebut. Jika kondisi seperti itu diantisipasi, tulangan transversal juga disyaratkan pada daerah dimana kelelehan diharapkan terjadi. Karena pengelupasan *(spalling)* beton mungkin terjadi, terutama di dan dekat daerah kelelehan lentur, semua tulangan badan disyaratkan untuk disediakan dalam bentuk sengkang tertutup.



Gambar R18.6.4 – Contoh sengkang tertutup (*hoop*) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

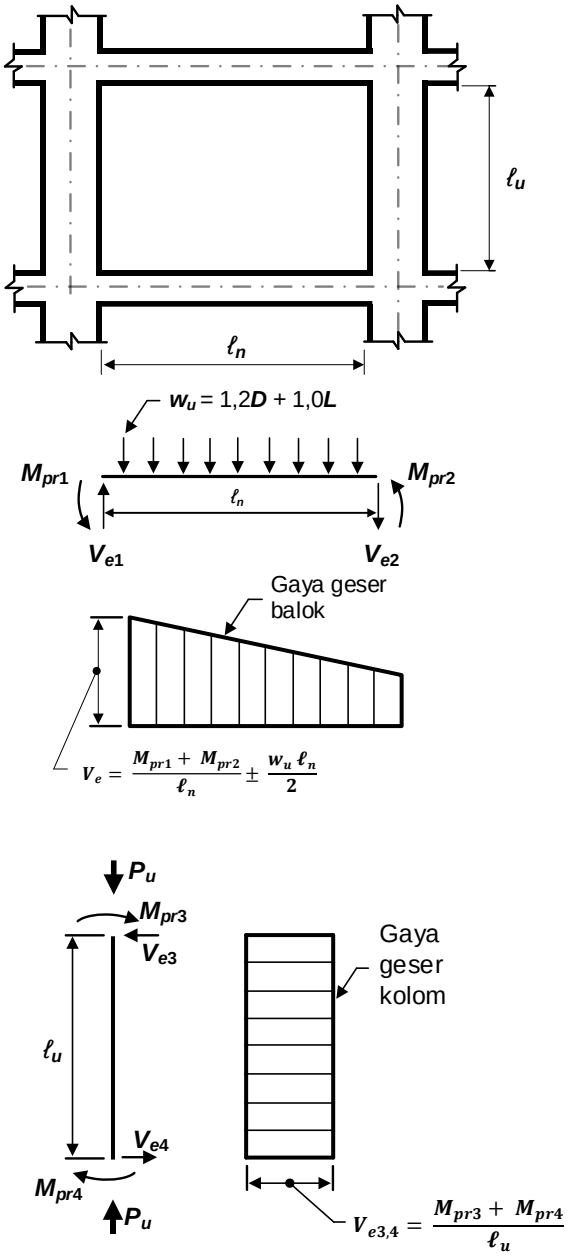
STANDAR	PENJELASAN
ditentukan pada 18.6.4.1. Di luar jarak tersebut harus dipasang sengkang pengekang yang memenuhi 18.7.5.2 dengan spasi *s* tidak lebih dari nilai terkecil antara enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm. Pada kondisi tebal selimut beton melebihi 100 mm di luar tulangan transversal, harus dipasang tulangan transversal tambahan yang memiliki selimut beton yang tidak lebih dari 100 mm dan spasi tidak lebih dari 300 mm.	
18.6.5 *Kekuatan geser*	**R18.6.5** *Kekuatan geser* – kecuali balok memiliki kekuatan momen yang berada pada 3 atau 4 kali momen desain, harus diasumsikan akan leleh pada lentur jika terjadi gempa besar. Gaya geser desain harus dipilih sehingga menjadi pendekatan yang baik dari geser maksimum yang dapat dihasilkan komponen. Oleh karena itu, persyaratan kekuatan geser pada komponen rangka berhubungan dengan kekuatan lentur dari komponen yang didesain daripada dengan gaya geser terfaktor ditunjukkan oleh analisis beban lateral. Kondisi ini dijelaskan dalam 18.6.5.1 diilustrasikan pada Gambar R18.6.5
18.6.5.1 *Gaya desain* **–** Gaya geser desain V_e harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr}, harus diasumsikan bekerja pada muka-muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.	
18.6.5.2 *Tulangan transversal* Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam 18.6.4.1 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua a) dan b) terpenuhi: a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut. b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c/20$.	Karena kekuatan leleh aktual pada tulangan longitudinal dapat melebihi kekuatan leleh yang disyaratkan dan karena pengerasan regangan *(strain hardening)* cenderung terjadi pada suatu *joint* yang terkena rotasi yang besar, kekuatan geser perlu ditentukan menggunakan tegangan tidak kurang dari $1{,}25 f_y$ tulangan longitudinal. Studi eksperimental (Popov et al. 1972) komponen beton bertulang yang dikenai beban siklik telah menunjukkan bahwa butuh tulangan geser lebih banyak untuk memastikan kegagalan lentur jika komponen mengalami perpindahan nonlinear daripada jika komponen struktur dibebani hanya dalam satu arah. Pengamatan ini tercermin dalam standar ini (mengacu pada 18.6.5.2) dengan menghilangkan bagian yang mewakili kontribusi beton pada kekuatan geser. Langkah konservatif yang diambil pada geser dianggap perlu pada lokasi yang berpotensi terjadi sendi plastis. Namun, strategi ini dipilih karena kemudahannya,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tidak boleh diartikan bahwa tidak perlu ada beton untuk menahan geser. Sebaliknya, dapat dikatakan bahwa beton inti menahan semua geser dengan tulangan geser (transversal) yang mengekang dan memperkuat beton inti tersebut. Kekangan pada beton inti memainkan peranan yang sangat penting pada perilaku balok dan tidak boleh dikurangi seminimal mungkin hanya karena ekspresi desain tidak secara eksplisit menjelaskannya. Catatan pada Gambar R18.6.5: 1. Arah gaya geser V_e tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung 2. Momen-momen ujung M_{pr} berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1{,}25f_y$ dimana f_y kekuatan leleh yang disyaratkan. (Kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam) 3. Momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh M_{pr} balok-balok yang merangka ke dalam sambungan balok-kolom. V_e tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh analisi struktur.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN



Gambar R18.6.5 – Geser desain untuk balok dan kolom

18.7 – Kolom sistem rangka pemikul momen khusus

18.7.1 Ruang lingkup

18.7.1.1 Pasal ini berlaku untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial.

R18.7 – Kolom sistem rangka pemikul momen khusus

R18.7.1 Ruang Lingkup – Pasal ini berlaku untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus terlepas dari besarnya gaya aksial. Sebelum 2014, standar mengizinkan kolom dengan gaya aksial yang kecil didesain sebagai balok.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.7.2 *Batasan dimensi*	**R18.7.2** *Batasan dimensi* – Batasan geometri dalam pasal ini mengikuti praktek sebelumnya (*Seismology Committee of* SEAOC 1996)
18.7.2.1 Kolom-kolom harus memenuhi a) dan b): a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm. b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.	
18.7.3 *Kekuatan lentur minimum kolom*	**R18.7.3** *Kekuatan lentur minimum kolom* – Tujuan dari 18.7.3.2 adalah untuk mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Jika kolom tidak lebih kuat dari balok yang merangka pada *joint*, ada kemungkinan peningkatan aksi inelastik. Kasus terburuk pada kolom lemah adalah kelelehan lentur dapat terjadi pada kedua ujung kolom pada satu lantai tertentu yang menghasilkan mekanisme kegagalan kolom yang dapat menyebabkan keruntuhan bangunan.
18.7.3.1 Kolom-kolom harus memenuhi 18.7.3.2 atau 18.7.3.3.	
18.7.3.2 Kekuatan lentur kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} \geq (1{,}2) \sum M_{nb}$ (18.7.3.2) ΣM_{nc} adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah. ΣM_{nb} adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka *joint*, tulangan pelat dalam lebar efektif pelat sesuai 6.3.2 harus diasumsikan berkontribusi terhadap M_{nb} jika tulangan pelat tersebut terangkur dengan baik pada penampang kritisnya. Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom berlawanan dengan momen-momen balok. Pers. (18.7.3.2) harus dipenuhi untuk momen-momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertikal rangka yang ditinjau.	Pada 18.7.3.2, kekuatan nominal balok dan kolom dihitung pada muka-muka *joint*, dan kekuatan tersebut dibandingkan secara langsung menggunakan Pers. (18.7.3.2). Standar 1995 dan standar sebelumnya mengharuskan kekuatan desain untuk dibandingkan tidak pada permukaan *joint* tetapi di pusat *joint*, yang biasanya menghasilkan hasil yang sama tetapi dengan usaha penghitungan ekstra. Dalam menentukan kekuatan momen nominal balok dengan lentur negatif (sisi atas dalam kondisi tarik), tulangan longitudinal yang terdapat dalam lebar efektif sayap dari pelat atas yang berperilaku monolit dengan balok meningkatkan kekuatan balok. French dan Moehle (1991), pada rakitan balok-kolom yang mengalami gaya lateral, menunjukkan bahwa dengan menggunakan lebar sayap efektif yang didefinisikan dalam 6.3.2 memberikan nilai perkiraan momen negatif sambungan interior yang cukup baik pada perpindahan lantai mendekati 2 persen dari ketinggian tingkat. Lebar efektif ini konservatif bila pelat berakhir pada *spandrel* yang lemah. Bila 18.7.3.2 tidak terpenuhi pada *joint*, 18.7.3.3 mensyaratkan kontribusi positif
18.7.3.3 Jika 18.7.3.2 tidak dipenuhi pada suatu *joint*, kekuatan dan kekakuan lateral kolom yang merangka ke dalam *joint* tersebut harus diabaikan saat menghitung kekuatan dan kekakuan struktur. Kolom-kolom ini harus memenuhi 18.14.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

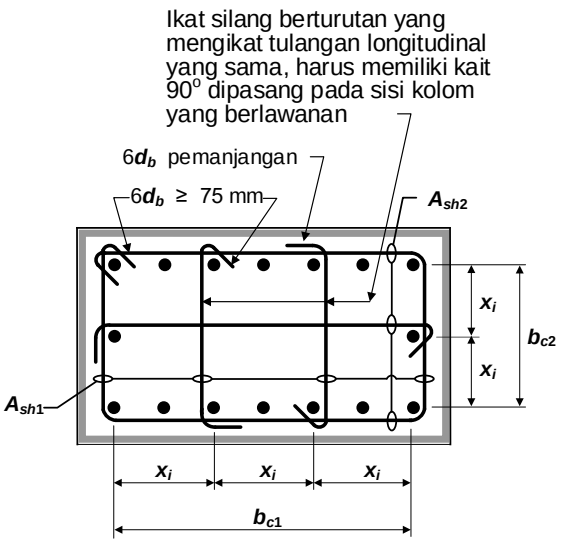
STANDAR	PENJELASAN
	kolom atau kolom-kolom pada kekakuan dan kekuatan lateral struktur harus diabaikan. Kontribusi negatif tidak dihilangkan. Sebagai contoh, meniadakan kekakuan kolom seharusnya tidak menjadi alasan untuk mengurangi geser dasar (*base shear*) desain. Bila menyertakan kolom tersebut dalam model analisis bangunan dapat menghasilkan peningkatan efek torsi, peningkatan tersebut harus diperhitungkan seperti disyaratkan oleh SNI 1726. Selanjutnya, kolom harus diberi penulangan transversal untuk meningkatkan tahanan terhadap gaya geser dan aksial.
18.7.4 *Tulangan longitudinal*	**R18.7.4** *Tulangan longitudinal* – Batas bawah luas tulangan longitudinal adalah untuk mengontrol deformasi jangka panjang dan untuk memiliki momen leleh melebihi momen retaknya. Batas atas luas tulangan longitudinal mencerminkan kepedulian terhadap kerapatan tulangan, transfer beban dari elemen lantai ke kolom (terutama dalam konstruksi bangunan tingkat rendah) dan peningkatan tegangan geser yang tinggi.
18.7.4.1 Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0{,}01A_g$ dan tidak lebih dari $0{,}06A_g$.	Pengelupasan selimut beton, yang mungkin terjadi di dekat ujung kolom pada rangka dengan konfigurasi tipikal, membuat sambungan lewatan di lokasi ini rentan. Jika sambungan lewatan harus digunakan, maka harus diletakkan di daerah tengah tinggi lantai (*midheight*) di mana tegangan bolak-balok cenderung terbatas pada rentang tegangan yang lebih kecil daripada di lokasi dekat *joint*. Tulangan transversal diperlukan pada area sepanjang sambungan lewatan karena ketidakpastian distribusi momen di sepanjang tinggi lantai dan kebutuhan untuk pengekangan sambungan lewatan yang mengalami tegangan bolak-balik (Sivakumar et al. 1983).
18.7.4.2 Pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.	
18.7.4.3 Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.	
18.7.5 *Tulangan transversal*	**R18.7.5** *Tulangan transversal* - Bagian ini berkaitan dengan pengekangan beton dan penyediaan dukungan lateral untuk tulangan longitudinal.
18.7.5.1 Tulangan transversal yang disyaratkan 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang ℓ_o dari masing-masing	**R18.7.5.1** Bagian ini menetapkan panjang minimum untuk menyediakan tulangan transversal yang rapat pada ujung kolom, dimana leleh lentur biasanya terjadi. Hasil

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang l_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) hingga c): a) Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi b) Seperenam tinggi bersih kolom c) 450 mm	penelitian menunjukkan bahwa panjang minimum harus ditingkatkan sebesar 50 persen atau lebih di lokasi-lokasi, seperti lantai dasar bangunan, di mana kebutuhan beban aksial dan lentur kemungkinan sangat tinggi (Watson et al. 1994).
18.7.5.2 Tulangan transversal harus sesuai a) hingga f): a) Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpuk (*overlap)*, sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang. b) Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar. c) Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekang diizinkan sesuai batasan 25.7.2.2. Ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang. d) Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal sesuai 25.7.2.2 dan 25.7.2.3 e) Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm. f) Ketika $P_u > 0{,}3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang	**R18.7.5.2** Bagian 18.7.5.2 dan 18.7.5.3 memberikan persyaratan untuk konfigurasi tulangan transversal untuk kolom dan *joint* dari sistem rangka pemikul momen khusus. Gambar R18.7.5.2 menunjukkan contoh tulangan transversal yang disediakan oleh satu sengkang pengekang dan tiga ikat silang (*crossties*). Ikat silang dengan kait 90 derajat tidak seefektif ikat silang dengan kait 135 derajat ataupun sengkang pengekang dalam memberikan pengekangan. Untuk nilai $P_u/A_g f_c'$ yang rendah dan kekuatan tekan beton yang rendah, ikat silang dengan kait 90-derajat cukup memadai apabila ujung kaitnya dipasang selang-seling sepanjang kolom dan di sekeliling kolom. Untuk nilai $P_u/A_g f_c'$ yang lebih tinggi, dimana diharapkan terjadi perilaku yang terkontrol tekan (*compression controlled behavior*), dan untuk kekuatan tekan yang tinggi, dimana perilaku kolom cenderung lebih getas, peningkatan pengekangan yang disediakan dengan memiliki sudut dengan sengkang tertutup (*hoop*) atau kait seismik yang mendukung semua tulangan longitudinal adalah sangat penting untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Apabila kondisi ini berlaku, diperlukan ikat silang dengan kait seismik di kedua ujungnya. Batasan spasi sebesar 200 mm pada h_x juga dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja pada kondisi kritis. Untuk tulangan yang dibundel (*bundled bars*), bengkokan atau kait dari sengkang tertutup dan ikat silang harus mengelilingi bundel, dan bengkokan yang lebih panjang pada kait harus dipertimbangkan. Beban aksial kolom P_u

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pengekang ataupun oleh kait gempa, dan nilai h_x tidak boleh lebih dari 200 mm. P_u harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk ***E***.	harus mencerminkan gaya tekan terfaktor dari beban gempa dan gravitasi. Pada standar-standar yang lalu, persyaratan untuk tulangan transversal di kolom, dinding, sambungan balok-kolom, dan balok kopel yang diperkuat secara diagonal mengacu pada persamaan yang sama. Pada standar ini, persamaan dan persyaratan penulangannya berbeda tergantung pada tipe elemen dan merupakan fungsi dari beban, deformasi, dan persyaratan kinerjanya. Selain itu, h_x sebelumnya disebut sebagai jarak antara kaki-kaki sengkang pengekang atau ikat silang. Pada standar ini, h_x mengacu pada jarak antara tulangan longitudinal yang diikat oleh sengkang pengekang ataupun ikat silang tersebut.



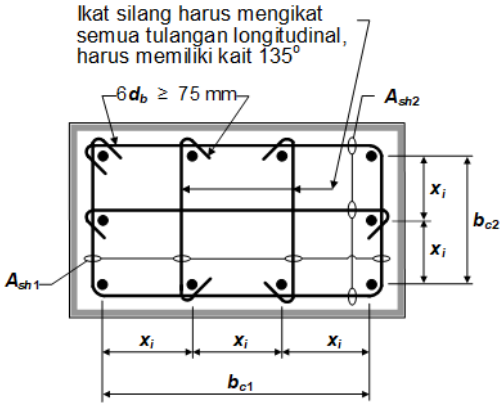
Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 350 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i.

Gambar R18.7.5.2 – Contoh penulangan transversal pada kolom

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i.

Gambar R18.7.5.2 f) – Contoh penulangan transversal pada kolom dengan $P_u > 0{,}3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ Mpa

18.7.5.3 Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari (a) hingga (c):

a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
c) s_o, yang dihitung dengan

$$s_O = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (18.7.5.3)$$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

R18.7.5.3 Persyaratan bahwa spasi tulangan transversal tidak melebihi seperempat dimensi minimum komponen adalah untuk memenuhi kecukupan pengekangan beton. Persyaratan bahwa spasi sengkang tidak melebihi enam kali diameter tulangan longitudinal adalah dimaksudkan memberikan tahanan tekuk tulangan longitudinal setelah terjadi pengelupasan beton. Batasan spasi 100 mm adalah untuk pengekangan beton; 18.7.5.3 mengizinkan batasan ini diperbesar menjadi 150 mm jika spasi ikat silang atau kaki-kaki tulangan dari sengkang tertutup (*hoop*) saling tumpuk adalah 200 mm atau lebih kecil.

18.7.5.4 Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 18.7.5.4.

Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekangan k_n dihitung berdasarkan Pers. 18.7.5.4a dan 18.7.5.4b.

a) $k_f = \frac{f_c'}{175} + 0{,}6 \geq 1{,}0$ (18.7.5.4a)

b) $k_n = \frac{n_\ell}{n_\ell - 2}$ (18.7.5.4b)

dimana n_ℓ adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang

R18.7.5.4 Efek tulangan spiral dan tulangan sengkang pengekang persegi yang dikonfigurasikan dengan baik terhadap kapasitas deformasi kolom sudah banyak dibuktikan (Sakai dan Sheikh 1989). Ekspresi (a), (b), (d), dan (e) pada Tabel 18.7.5.4 telah digunakan dalam SNI 2847 untuk menghitung kebutuhan tulangan pengekang untuk menjamin bahwa *spalling* selimut beton tidak menyebabkan hilangnya kapasitas kolom dalam menahan gaya aksial. Ekspresi (c) dan (f) dikembangkan dari studi terhadap data pengujian kolom (Elwood et al. 2009) dan dimaksudkan untuk menghasilkan kolom yang mampu mencapai rasio simpangan (*drift*) sebesar 0,03 tanpa

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekang atau kait seismik.

Tabel 18.7.5.4 – Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \le 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \le 70$ MPa	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a) $0,09\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ MPa	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$ (c)
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	$P_u \le 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \le 70$ MPa	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (d) $0,12\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (e)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ MPa	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0,35k_f \frac{P_u}{f_{yt}A_{ch}}$ (f)

18.7.5.5 Di luar panjang ℓ_0 yang ditetapkan dalam 18.7.5.1, kolom harus diberi tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi 25.7.2 hingga 25.7.4 dengan spasi s tidak melebihi nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh 18.7.4.3 atau 18.7.6.

PENJELASAN

mengalami penurunan kekuatan yang drastis. Ekspresi (c) dan (f) akan menentukan untuk kasus dimana gaya aksial melebihi $0,3A_g f_c'$, yang mana kira-kira terletak di daerah terkontrol tekan untuk kolom yang ditulangi secara simetris. Faktor k_n (Paultre dan Legeron 2008) mengurangi kebutuhan tulangan pengekang dengan memperkecil spasi dan kekangan lateral tulangan longitudinal sebab kolom yang demikian lebih efektif terkekang daripada kolom dengan tulangan longitudinal yang spasi kekangan lateralnya lebih besar. Faktor k_f meningkatkan kebutuhan tulangan pengekang untuk kolom dengan > **70 MPa** karena kolom tersebut akan mengalami kegagalan getas apabila tidak dikekang dengan baik. Kekuatan tekan beton dengan mutu lebih besar daripada 100 MPa, harus digunakan dengan lebih hati-hati sebab hasil penelitian kolom dengan mutu setinggi itu belum banyak. Kekuatan tekan beton yang digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan pengekang harus sama dengan mutu beton yang disyaratkan di dokumen konstruksi.

Ekspresi (a), (b), dan (c) pada Tabel 18.7.5.4 harus dipenuhi untuk dua arah. Untuk tiap arah yang ditinjau, b_c adalah dimensi inti yang tegak lurus dengan kaki tulangan A_{sh} seperti yang ditunjukkan pada Gambar R18.7.5.2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tulangan mutu tinggi dapat efektif digunakan sebagai tulangan pengekang. Pasal 20.2.2.4 mengizinkan penggunaan nilai f_{yt} sebesar 700 MPa untuk digunakan pada Tabel 18.7.5.4.

R18.7.5.5 Ketentuan ini dimaksudkan untuk memberikan perlindungan yang wajar terhadap daerah tengah tinggi kolom di luar daerah sepanjang ℓ_o. Dari hasil pengamatan setelah gempa bumi telah menunjukkan kerusakan yang signifikan terhadap kolom pada daerah ini, dan tulangan minimum sengkang pengekang atau spiral yang diperlukan harus memberikan kekuatan yang lebih seragam di sepanjang kolom.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.7.5.6 Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding, harus memenuhi a) dan b): a) Tulangan transversal sesuai 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 harus disediakan sepanjang tinggi keseluruhan kolom pada semua tingkat di bawah lokasi diskontinuitas jika gaya tekan aksial terfaktor pada kolom-kolom ini akibat pengaruh gempa melebihi $A_g f_c'/10$. Bilamana gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan faktor kekuatan lebih elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik, batasan $A_g f_c'/10$ harus ditingkatkan menjadi $A_g f_c'/4$. b) Tulangan transversal harus diteruskan ke dalam komponen struktur kaku tak menerus paling sedikit sejarak ℓ_d batang tulangan longitudinal terbesar sesuai 18.8.5. Bilamana ujung bawah kolom yang ditinjau berhenti pada suatu dinding, tulangan transversal perlu harus diteruskan ke dalam dinding paling sedikit ℓ_d batang tulangan longitudinal terbesar di titik pemutusan. Bilamana kolom tersebut berhenti pada sistem fondasi, tulangan transversal perlu harus diteruskan paling sedikit 300 mm ke dalam sistem fondasi.	**R18.7.5.6** Kolom yang mendukung elemen struktur kaku yang tidak menerus, seperti dinding atau rangka batang, dapat mencapai respons inelastik yang cukup besar. Oleh karena itu, kolom-kolom ini memerlukan penulangan transversal yang disyaratkan pada sepanjang kolom. Ini mencakup semua kolom di bawah lantai di mana elemen struktur kaku tidak menerus, kecuali apabila gaya-gaya terfaktor terkait efek gempa adalah rendah. Lihat R18.12.7.5 untuk pembahasan faktor kekuatan lebih (*overstrength)* Ω_o.
18.7.5.7 Jika tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekang yang ditetapkan berdasarkan 18.7.5.1, 18.7.5.5, dan 18.7.5.6 melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300 mm.	**R.18.7.5.7** Cangkang atau kulit yang tidak ditulangi dapat terkelupas saat kolom berdeformasi menahan efek gempa. Terpisahnya bagian cangkang dari intinya akibat pengelupasan lokal dapat menyebabkan bahaya jatuhnya beton cangkang tersebut. Tulangan tambahan diperlukan untuk mengurangi resiko terlepasnya cangkang dari kolom tersebut.
18.7.6 *Kekuatan geser*	**R18.7.6** *Kekuatan geser*
18.7.6.1 *Gaya desain*	**R18.7.6.1** *Gaya desain*
18.7.6.1.1 Gaya geser desain V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr}, di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, P_u, yang bekerja pada	**R18.7.6.1.1** Prosedur pada pasal 18.6.5.1 juga diaplikasikan untuk kolom. Pada lokasi di atas lantai dasar, momen pada *joint* dibatasi oleh kekuatan lentur balok yang merangka pada *joint*. Apabila balok-balok yang merangka pada sisi yang saling berlawanan dari *joint*, kekuatan kombinasi adalah penjumlahan kekuatan momen negatif pada satu sisi *joint* dan kekuatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke *joint*. Nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.	momen positif pada sisi *joint* lainnya. Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1{,}25f_y$. Distribusi kombinasi kekuatan momen pada balok ke kolom di atas dan di bawah *joint* harus berdasarkan analisis.
18.7.6.2 *Tulangan transversal*	
18.7.6.2.1 Tulangan transversal sepanjang ℓ_o berdasarkan 18.7.5.1, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila a) dan b) terjadi: a) Gaya geser akibat gempa berdasarkan 18.7.6.1 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang ℓ_0. b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c/20$.	
18.8 – *Joint sistem rangka pemikul momen khusus*	**R18.8 – *Joint sistem rangka pemikul momen khusus***
18.8.1 *Ruang lingkup*	
18.8.1.1 Pasal ini berlaku untuk *joint* balok-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik.	
18.8.2 *Umum*	**R18.8.2** *Umum* – Pembentukan rotasi inelastik pada muka-muka *joint* pada rangka beton bertulang berkaitan dengan regangan pada tulangan lentur jauh melebihi regangan leleh. Konsekuensinya, gaya geser *joint* yang dihasilkan dari tulangan lentur dihitung dengan tegangan $1{,}25f_y$ pada tulangan (mengacu 18.8.2.1). Penjelasan detail dari alasan untuk kemungkinan terbentuknya tegangan melebihi kekuatan leleh pada tulangan tarik balok tersedia di ACI 352R.
18.8.2.1 Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1{,}25f_y$.	
18.8.2.2 Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai 18.8.5 dan dalam tekan sesuai 25.4.9.	**R18.8.2.2** Ketentuan desain untuk batang tulangan kait terutama berdasarkan penelitian dan pengalaman untuk *joint* dengan kait standar 90 derajat. Oleh karena itu, kait standar 90 derajat secara umum lebih disukai daripada kait standar 180 derajat kecuali pertimbangan yang tidak biasa mengharuskan penggunaan kait

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	180 derajat. Untuk tulangan/batang tekan, panjang penyaluran sesuai dengan bagian lurus dari kait atau kepala batang diukur dari bagian kritis ke awal bengkokan/titik belok untuk batang tulangan kait dan dari bagian kritis ke kepala untuk tulangan berkepala.
18.8.2.3 Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.	**R.18.8.2.3** Penelitian (Menheit dan Jirsa 1977; Briss et al. 1978; Ehsani 1982; Durrani and Wight 1982; Leon 1989) menunjukkan bahwa tulangan lurus balok mungkin *slip* dalam *joint* balok-kolom selama serangkaian momen bolak-balik yang besar. Tegangan lekatan pada batang lurus ini mungkin sangat besar. Untuk mengurangi *slip* secara substansial selama pembentukan sendi plastis balok yang berdekatan, diperlukan rasio dimensi kolom terhadap diameter batang mendekati 32, yang akan menghasilkan *joint* yang sangat besar. Dalam tinjauan pengujian yang tersedia, diperlukan rasio minimum kedalaman kolom terhadap diameter maksimum tulangan longitudinal balok ditetapkan 20 untuk beton normal dan 26 untuk beton ringan. Akibat kekurangan data yang spesifik untuk tulangan balok yang masuk dalam *joint* pada beton ringan, Batasan ini berdasarkan faktor amplifikasi sebesar 1,3, dengan pendekatan timbal balik dari faktor modifikasi beton ringan di 19.2.4. Batasan ini memberikan kontrol yang wajar pada jumlah potensi *slip* batang tulangan balok pada sambungan balok-kolom, mempertimbangkan jumlah perjalanan perilaku inelastik yang diantisipasi dari rangka gedung saat terjadi gempa besar. Bahasan menyeluruh atas topik ini diberikan Zhu dan Jirsa (1983).
18.8.2.4 Tinggi *joint* ***h*** tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada *joint* tersebut dan yang menyebabkan geser pada *joint* sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.	**R.18.8.2.4** Tinggi ***h*** pada *joint* didenisikan dalam Gambar R18.8.4. Persyaratan aspek rasio *joint* berlaku hanya pada balok yang didesain sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik. *Joint* yang memiliki tinggi kurang dari setengah dari tinggi balok membutuhkan strut tekan diagonal yang curam di sepanjang sambungan, yang mungkin kurang efektif dalam menahan geser *joint.* Pengujian yang menunjukkan kinerja *joint* yang seperti itu belum tercantum dalam literatur.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.8.3 *Tulangan transversal*	**R.18.8.3** *Tulangan transversal* – Standar ini mensyaratkan tulangan transversal pada *joint* terlepas dari besarnya gaya geser yang dihitung.
18.8.3.1 Tulangan transversal *joint* harus memenuhi 18.7.5.2, 18.7.5.3, 18.7.5.4, dan 18.7.5.7, kecuali sebagaimana yang diizinkan 18.8.3.2.	
18.8.3.2 Bila pada keempat sisi *joint* terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok ***h*** yang terendah yang merangka pada *joint* tersebut.	**R.18.8.3.2** Jumlah tulangan pengekang dapat dikurangi dan spasi dapat ditambah jika dimensi balok yang memadai yang merangka pada keempat sisi *joint.*
18.8.3.3 Tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom harus dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi sesuai 18.6.4.4, dan persyaratan 18.6.4.2 dan 18.6.4.3, jika pengekangan tersebut tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam *joint.*	**R.18.8.3.3** Tulangan transversal perlu, atau balok transfer jika ada, dimaksudkan untuk mengekang tulangan longitudinal balok dan meningkatkan gaya transfer pada *joint* balok-kolom. Sebuah contoh tulangan transversal pada kolom yang disediakan untuk mengekang tulangan lewatan diluar inti kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar R18.6.2. Petunjuk pendetailan tambahan dan rekomendasi desain untuk kedua sambungan interior dan eksterior balok lebar *(wide-beam)* dengan tulangan lewatan diluar inti kolom dapat ditemukan pada ACI 352R.
18.8.3.4 Bila tulangan momen negatif balok menggunakan tulangan berkepala (*headed deformed bar*) yang berhenti di dalam *joint*, maka ujung atas kolom harus diteruskan di atas *joint* setidaknya setinggi ***h***. Sebagai alternatif, tulangan balok harus dikekang pada muka atas *joint* oleh tulangan *joint* vertikal tambahan.	**R.18.8.3.4** Ketentuan ini mengacu pada *knee joint* dimana tulangan balok diputus dengan tulangan ulir berkepala. *Joint* seperti itu memerlukan pengekangan pada tulangan balok berkepala sepanjang muka atas *joint.* Pengekangan ini dapat di sediakan baik oleh (a) kolom yang menerus keatas di atas muka *joint,* atau (b) kait tulangan vertikal disekitar batang tulangan atas balok dan diteruskan kebawah menuju *joint* di samping tulangan longitudinal kolom. Petunjuk pendetailan dan rekomendasi desain untuk tulangan *joint* vertikal ada pada ACI 352R.
18.8.4 *Kekuatan geser*	**R18.8.4** *Kekuatan geser* – Persyaratan pada Pasal 18 untuk *joint* yang proporsional berdasarkan ACI 352R bahwa fenomena

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

18.8.4.1 Kekuatan geser V_n *joint* harus sesuai Tabel 18.8.4.1.

Tabel 18.8.4.1 – Kekuatan geser nominal joint V_n

Konfigurasi *Joint*	V_n
Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya [1]	$1,7\lambda\sqrt{f_c'}A_j$ [2]
Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan[1]	$1,2\lambda\sqrt{f_c'}A_j$ [2]
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f_c'}A_j$ [2]

[1]Mengacu pada 18.8.4.2

[2] λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Nilai A_j berdasarkan 18.8.4.3

18.8.4.2 Pada Tabel 18.8.4.1, suatu muka *joint* dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif *joint*. Perpanjangan balok yang melewati muka *joint* setidaknya sama dengan tinggi balok h boleh dianggap memberikan kekangan pada muka *joint* tersebut. Perpanjangan balok tersebut harus memenuhi 18.6.2.1 (b), 18.6.3.1, 18.6.4.2, 18.6.4.3, dan 18.6.4.4.

18.8.4.3 Luas penampang efektif dalam suatu *joint*, A_j, harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom, h. Lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b):

a) Lebar balok ditambah tinggi *joint*
b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

PENJELASAN

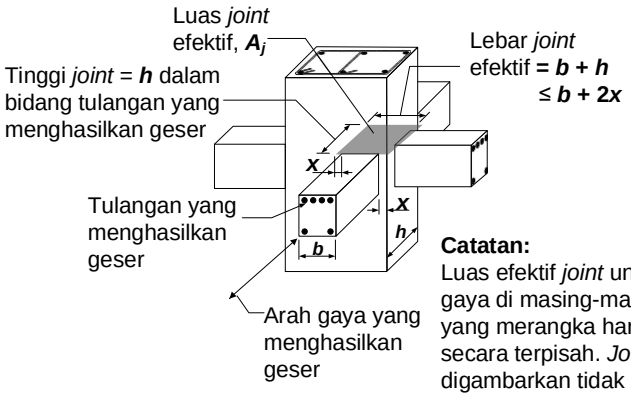
perilaku didalam *joint* diinterpretasikan dalam kekuatan geser nominal pada *joint.* Berdasarkan tes pada *joint* (Meinheit dan Jirsa 1997) dan balok tinggi *(deep beams)* (Hirosiwa 1997) mengindikasikan bahwa kekuatan geser tidak sensitif terhadap tulangan *joint* (geser) seperti yang tersirat dalam persamaan yang dikembangkan oleh Joint ACI-ASCE Committee 326 (1962) untuk balok, kekuatan pada *joint* ditetapkan sebagai fungsi dari kekuatan tekan beton saja dan persyaratan jumlah minimum tulangan transversal pada *joint* (mengacu pada 18.8.3). Luas efektif *joint,* A_j, diilustrasikan pada Gambar R18.8.4. Tidak diizinkan A_j lebih besar dari luas penampang kolom. Kolom bulat harus dianggap memiliki bagian persegi dari luas ekuivalen penampang persegi.

Ketiga tingkatan kekuatan geser disyaratkan 18.8.4.1 berdasarkan rekomendasi dari ACI 352R.

Uji beban siklik pada *joint* dengan perpanjangan balok dengan panjang sekurang-kurangnya sama dengan tinggi balok mengindikasikan kekuatan geser *joint* yang sama terhadap *joint* dengan balok menerus. Temuan ini menunjukkan bahwa perpanjangan balok, ketika dibuat dengan dimensi dan ditulangi dengan tulangan longitudinal dan transversal yang tepat, memberikan kekangan yang efektif pada muka *joint,* sehingga menunda penurunan kekuatan *joint* pada deformasi yang besar (Meinheit dan Jirsa 1981)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**



Catatan:
Luas efektif *joint* untuk gaya-gaya di masing-masing arah yang merangka harus ditinjau secara terpisah. *Joint* yang digambarkan tidak memenuhi kondisi-kondisi berdasarkan 18.8.3.2 dan 18.8.4.1 perlu dianggap terkekang karena balok tidak menutupi paling sedikit ¾ dari lebar setiap bidang muka *joint*.

Gambar R18.8.4 – Luas *joint* efektif

18.8.5 *Panjang penyaluran tulangan tarik*

18.8.5.1 Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran ℓ_{dh} harus dihitung berdasarkan Pers. (18.8.5.1). Untuk beton normal, ℓ_{dh} yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm.

$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f_c'}} \qquad (18.8.5.1)$$

Nilai λ adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal.

Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam *joint*.

R18.8.5 *Panjang penyaluran tulangan Tarik*

R18.8.5.1 Panjang penyaluran minimum dalam tarik untuk tulangan ulir dengan kait standar ditetapkan menggunakan Pers. (18.8.5.1), berdasarkan 25.4.3. Panjang penyaluran batang dengan kait standar adalah jarak, paralel ke batang, dari penampang kritis (dimana tulangan akan disalurkan), ke garis singgung tepi luar kait. Garis singgung harus ditarik tegak lurus terhadap sumbu batang (mengacu ke tabel 25.3.1).

Karena Pasal 18 menetapkan bahwa kait harus tertanam dalam beton yang terkekang, koefisien 0,7 (untuk selimut beton) dan 0,8 (untuk ikat silang) telah dimasukkan dalam kostanta pada Pers. (18.8.5.1). Panjang penyaluran yang diturunkan langsung dari 25.4.3 ditingkatkan untuk mencerminkan efek beban bolak-balik. Faktor-faktor seperti tegangan aktual pada tulangan menjadi lebih besar dari kekuatan leleh dan panjang penyaluran efektif tidak selalu dimulai pada muka *joint* telah secara implisit dipertimbangkan dalam perumusan sebagai panjang penyaluran dasar yang digunakan sebagai dasar Pers. (18.8.5.1).

Persyaratan untuk kait diproyeksikan kedalam *joint* adalah untuk meningkatkan strut tekan diagonal melewati *joint.* Persyaratan berlaku untuk tulangan balok

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dan kolom yang dihentikan pada *joint* dengan kait standar.
18.8.5.2 Untuk tulangan berkepala yang memenuhi 20.2.1.6, panjang penyaluran tarik harus sesuai 25.4.4, kecuali spasi bersih antar tulangan diizinkan setidaknya $3d_b$.	**R18.8.5.2** Batasan spasi $3d_b$ berdasakan studi j*oint* yang terkekang oleh tulangan transversal konsisten dengan persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus pada pasal ini (Kang et al. 2009). Untuk menghindari tulangan terlalu rapat, akan lebih baik memasang kepala tulangan selang seling.
18.8.5.3 Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik ℓ_d untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) dan b): a) 2,5 kali panjang sesuai 18.8.5.1 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm b) 3,25 kali panjang sesuai 18.8.5.1 bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.	**R18.8.5.3** Panjang penyaluran tarik minimum untuk batang lurus adalah perkalian dari panjang yang diindikasikan oleh 18.8.5.1. Pasal 18.8.5.3 b) mengacu pada batang atas. Kurangnya referensi untuk tulangan D43 dan D57 pada 18.8.5 adalah karena kurangnya informasi tentang pengangkuran dari tulangan tersebut yang terkena beban bolak-balik yang mensimulasikan pengaruh gempa.
18.8.5.4 Tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian ℓ_d yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.	**R18.8.5.4** Jika panjang tertanam lurus perlu dari batang tulangan berada di luar volume beton yang terkekang (seperti yang didefinisikan 18.6.4, 18.7.5, atau 18.8.3), panjang penyaluran perlu adalah ditingkatkan dengan asumsi bahwa batasan tegangan lekatan diluar daerah terkekang lebih rendah dari tegangan daerah terkekang. $\ell_{dm} = 1{,}6(\ell_d - \ell_{dc}) + \ell_{dc}$ Atau $\ell_{dm} = 1{,}6\ell_d - 0{,}6\ell_{dc}$ Dimana ℓ_{dm} adalah panjang penyaluran perlu jika batang tulangan tidak sepenuhnya tertanam dalam beton yang terkekang; ℓ_d adalah persyaratan panjang penyaluran tarik untuk batang lurus sebagaimana didefinisikan dalam 18.8.5.3; dan ℓ_{dc} adalah panjang dari batang yang tertanam dalam beton yang terkekang.
18.8.5.5 Jika digunakan tulangan berlapis epoksi, maka panjang penyaluran berdasarkan 18.8.5.1, 18.8.5.3, dan 18.8.5.4 harus dikalikan dengan faktor yang sesuai 25.4.2.4 atau 25.4.3.2.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

18.9 – Sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak

18.9.1 Ruang lingkup

18.9.1.1 Persyaratan ini berlaku untuk sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

PENJELASAN

R18.9 – Sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak

Ketentuan pendetailan dalam 18.9.2.1 dan 18.9.2.2 dimaksudkan untuk menghasilkan struktur rangka yang merespons perpindahan desain seperti sistem rangka pemikul momen khusus monolitik.

Sistem rangka pracetak yang terdiri dari elemen-elemen beton dengan sambungan daktail diharapkan mengalami pelelehan lentur di daerah sambungan. Tulangan pada sambungan yang daktail dapat dibuat menerus menggunakan sambungan mekanik Tipe 2 atau teknik lain yang memberikan penyaluran tarik atau tekan setidaknya setara dengan kekuatan tarik batang tulangan yang disyaratkan (Yoshioka and Sekine 1991; Kurose et al. 1991; Restrepo et al. 1995a, b). Persyaratan untuk sambungan mekanik adalah tambahan untuk 18.2.7 dan dimaksudkan untuk menghindari konsentrasi regangan dengan jarak yang pendek pada tulangan yang berdekatan dengan perangkat sambungan mekanik. Persyaratan tambahan untuk kekuatan geser ditentukan dalam 18.9.2.1 untuk mencegah pergeseran (*sliding*) muka sambungan. Rangka pracetak terdiri dari elemen-elemen dengan sambungan daktail dapat didesain dengan menempatkan pelelehan di lokasi yang tidak berdekatan dengan *joint*. Oleh karena itu, geser desain V_e, yang dihitung menurut 18.6.5.1 atau 18.7.6.1, mungkin tidak konservatif.

Sistem rangka beton pracetak terdiri dari elemen-elemen yang disambung menggunakan sambungan kuat disengaja untuk mengalami pelelehan lentur di luar sambungan. Sambungan kuat termasuk panjang perangkat sambungan mekanik seperti yang ditunjukkan pada Gambar R18.9.2.2. Teknik desain-kapasitas yang digunakan pada 18.9.2.2(c) untuk memastikan sambungan kuat tetap elastik selama pembentukan sendi plastis. Persyaratan tambahan untuk kolom diberikan untuk menghindari pembentukan sendi dan penurunan kekuatan sambungan kolom ke kolom.

Konsentrasi regangan yang telah diamati mengakibatkan keruntuhan getas pada batang tulangan pada muka sambungan

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	mekanik dalam uji laboratorium dari sambungan balok-kolom pracetak (Palmieri et al. 1996). Lokasi sambungan kuat harus dipilih secara hati-hati atau ketentuan lainnya harus diambil, seperti terlepasnya lekatan tulangan pada daerah tegangan tinggi, untuk menghindari konsentrasi regangan yang dapat mengakibatkan prematur fraktur tulangan.
18.9.2 *Umum*	**R18.9.2** *Umum*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

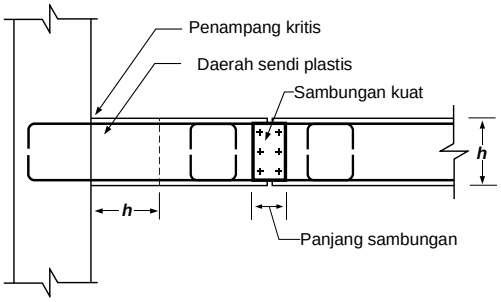
STANDAR

18.9.2.1 Sistem rangka pemikul momen khusus dengan sambungan daktail yang menggunakan beton pracetak harus memenuhi (a) hingga (c):

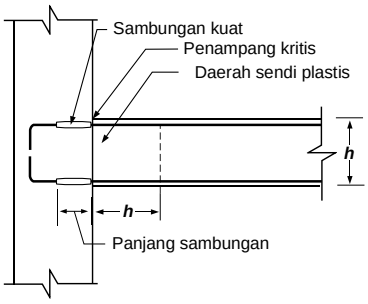
a) Persyaratan 18.6 hingga 18.8 untuk sistem rangka pemikul momen khusus beton cor di tempat
b) V_n untuk sambungan yang dihitung sesuai 22.9 tidak boleh kurang dari $2V_e$, dimana V_e dihitung sesuai 18.6.5.1 atau 18.7.6.1;
c) Sambungan mekanis tulangan balok harus ditempatkan pada jarak minimum $h/2$ dari muka *joint* dan harus memenuhi 18.2.7.

18.9.2.2 Sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak dengan sambungan kuat harus memenuhi a) hingga e):

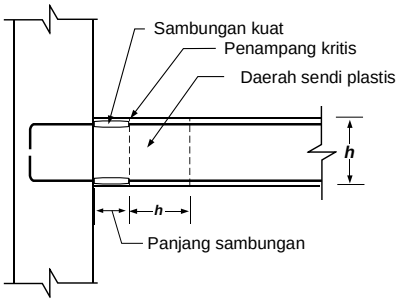
PENJELASAN



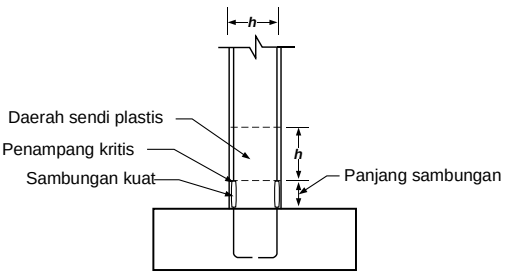
(a) Sambungan antar balok



(b) Sambungan balok kolom



(c) Sambungan balok-kolom



(d) Sambungan kolom – fondasi

Gambar R18.9.2.2 – Contoh sambungan kuat

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Persyaratan 18.6 hingga 18.8 untuk sistem rangka pemikul momen khusus beton cor di tempat b) Ketentuan 18.6.2.1(a) berlaku untuk segmen-segmen antara lokasi dimana dapat terjadi pelelehan lentur akibat perpindahan desain c) Nilai kekuatan desain sambungan kuat ϕS_n tidak boleh kurang dari S_e d) Tulangan longitudinal utama harus dibuat menerus melewati sambungan dan harus disalurkan di luar daerah sambungan kuat dan daerah sendi plastis e) Untuk sambungan kolom ke kolom, ϕS_n tidak boleh kurang dari $1{,}4S_e$. Nilai ϕM_n tidak boleh kurang dari $0{,}4M_{pr}$ di sepanjang tinggi kolom dan ϕV_n tidak boleh kurang dari V_e sesuai 18.7.6.1.	
18.9.2.3 Sistem rangka pemikul momen khusus beton pracetak dan tidak memenuhi persyaratan 18.9.2.1 atau 18.9.2.2 harus memenuhi (a) hingga (c): a) SNI 7834 atau ACI 374.1 b) Detail dan bahan yang digunakan pada spesimen uji harus mewakili yang digunakan pada struktur yang ditinjau c) Prosedur desain yang digunakan untuk memproporsikan spesimen uji harus mampu mensimulasikan mekanisme yang terjadi pada rangka dalam menahan pengaruh beban gravitasi dan gempa, dan hasil ujinya harus menghasilkan nilai yang bisa diterima dalam mempertahankan mekanisme tersebut. Bagian mekanisme yang menyimpang dari persyaratan di dalam standar ini harus terkandung di dalam spesimen uji dan harus diuji untuk menentukan batas atas dari nilai yang bisa diterima.	**R18.9.2.3** Sistem rangka momen tidak memenuhi persyaratan preskriptif Pasal 18 telah ditunjukkan dalam studi eksperimental memberikan karakteristik kinerja sesimik yang memuaskan (Stone et al. 1995; Nakaki et al. 1995). ACI 374.1 mendefinisikan protokol untuk menetapkan prosedur desain, divalidasi oleh analisis dan uji laboratorium untuk rangka seperti itu. Prosedur desain harus mengidentifikasi lintasan beban atau mekanisme dimana rangka menahan efek gravitasi dan gempa. Pengujian harus dikonfigurasi untuk menyelidiki perilaku kritis, dan kuantitas yang diukur harus menetapkan nilai batas-atas yang dapat diterima untuk komponen-komponen pada lintasan beban, dalam hal ini pembatasan tegangan, gaya, regangan, atau kuantitas lainnya. Prosedur desain yang digunakan pada struktur tidak boleh menyimpang dari yang digunakan untuk desain benda uji, dan nilai penerimaan harus tidak melebihi nilai yang telah ditunjukkan oleh pengujian untuk dapat diterima. Material dan komponen-komponen yang digunakan pada struktur harus sama dengan yang digunakan dalam pengujian. Penyimpangan mungkin dapat diterima jika perencana ahli bersertifikat dapat menunjukkan bahwa penyimpangan tersebut tidak mempengaruhi perilaku dari sistem rangka. ACI 550.3 mendefinisikan persyaratan untuk salah satu tipe sistem rangka pemikul

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	momen khusus beton pracetak untuk digunakan sesuai dengan 18.9.2.3.
18.10 – Dinding struktural khusus	**R18.10 – Dinding struktural khusus**
18.10.1 *Ruang lingkup*	**R18.10.1** *Ruang Lingkup* – Bagian ini berisi persyaratan dimensi dan pendetailan dari dinding struktural khusus dan semua komponen termasuk balok kopel dan pilar dinding. Pilar dinding didefinisikan pada Pasal 2. Ketentuan desain segmen vertikal dinding tergantung pada aspek rasio segmen dinding pada bidang dinding (h_w/ℓ_w), dan aspek rasio dari penampang horizontal (ℓ_w/b_w), dan umumnya mengikuti deskripsi pada Tabel R18.10.1. Batasan aspek rasio untuk pilar dinding berdasarkan penilaian ketektikan (*engineering judgement).* Ini dimaksudkan bahwa pelelehan lentur tulangan vertikal pada pilar akan membatasi kebutuhan geser pada pilar.
18.10.1.1 Pasal ini berlaku untuk dinding struktural khusus, dan semua komponennya termasuk balok kopel dan pilar dinding yang merupakan sistem pemikul gaya seismik.	
18.10.1.2 Dinding struktural khusus beton pracetak harus memenuhi 18.11 selain 18.10.	

Tabel R18.10.1 – Ketentuan desain yang menentukan untuk segmen vertikal dinding [1]

Rasio tinggi bersih dan panjang segmen vertikal dinding (h_w/ℓ_w)	Panjang segmen vertikal dinding / tebal dinding (ℓ_w/b_w)		
	$(l_w/b_w) \le 2{,}5$	$2{,}5 < (l_w/b_w) \le 6{,}0$	$(\ell_w/b_w) > 6{,}0$
$h_w/\ell_w < 2{,}0$	dinding	dinding	dinding
$h_w/\ell_w \ge 2{,}0$	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom sesuai 18.10.8.1	Pilar dinding harus memenuhi persyaratan desain kolom atau persyaratan alternatifnya sesuai 18.10.8.1	dinding

[1] h_w adalah tinggi bersih ℓ_w panjang horizontal, b_w lebar badan segmen dinding

18.10.2 *Tulangan*	**R18.10.2** *Tulangan* – Persyaratan tulangan minimum pada 18.10.2.1 mengikuti standar sebelumnya. Persyaratan untuk distribusi tulangan geser berhubungan dengan tujuan untuk mengendalikan lebar retak miring. Persyaratan tulangan dua lapis pada dinding dalam menahan geser desain pada 18.10.2.2 berdasarkan pemantauan, dalam kondisi konstruksi biasa, probabilitas pemeliharaan tulangan satu lapis yang dekat dengan bagian tengah dinding cukup rendah. Selanjutnya, keberadaan tulangan dekat permukaan cenderung menghambat kehancuran beton jika terjadi retak yang parah selama gempa. Persyaratan tulangan dua lapis tulangan vertikal pada dinding yang lebih ramping *(slender)* untuk meningkatkan stabilitas lateral pada daerah
18.10.2.1 Rasio tulangan badan (*web*) terdistribusi, ρ_ℓ dan ρ_t, pada dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025, kecuali bila V_u tidak melebihi $0{,}083A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$, ρ_ℓ dan ρ_t diizinkan untuk direduksi sesuai 11.6. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang memberi kontribusi pada V_n harus menerus dan harus didistribusikan sepanjang bidang geser.	
18.10.2.2 Paling sedikit dua lapis tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika $V_u > 0{,}17A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$ atau $h_w/\ell_w \ge$	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

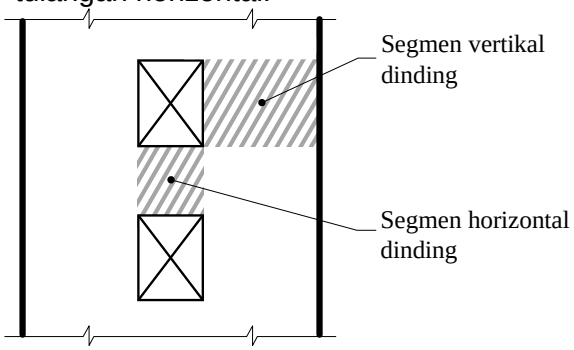
STANDAR	PENJELASAN
2,0, dimana h_w dan ℓ_w merupakan tinggi dan panjang dari dinding secara keseluruhan.	tekan akibat beban siklik yang menyebabkan pelelehan tulangan Tarik vertikal.
18.10.2.3 Tulangan dinding struktural harus dapat disalurkan atau disambung-lewatkan agar mampu mencapai kekuatan leleh tarik f_y sesuai 25.4, 25.5, dan a) hingga c): a) Tulangan longitudinal harus diteruskan sejauh minimal $0{,}8\ell_w$ di luar batas dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur, kecuali pada bagian atas dinding. b) Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal mungkin terjadi akibat perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus dihitung untuk dapat mengembangkan $1{,}25f_y$ dalam kondisi tarik. c) Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las tulangan harus memenuhi 18.2.8.	**R18.10.2.3** Persyaratan-persyaratan adalah berdasarkan ketentuan Pasal 25. Karena gaya aktual pada tulangan longitudinal pada dinding struktural dapat melebihi gaya yang dihitung, tulangan harus disalurkan atau disambung untuk mencapai kekuatan leleh tulangan tarik. Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal diharapkan terjadi, faktor pengali 1,25 digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan kekuatan leleh aktual melebihi kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, begitu juga dengan pengaruh *strain hardening* dan beban siklik. Bilamana tulangan transveral digunakan, panjang penyaluran untuk batang tulangan lurus dan kait mungkin bisa dikurangi seperti yang diizinkan pada 25.4.2 dan 25.4.3, karena tulangan transversal dengan spasi rapat dapat meningkatkan kinerja sambungan dan kait terhadap kebutuhan siklik inelastik (ACI 408.2R)
18.10.3 *Gaya desain* - V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral dengan menggunakan kombinasi beban terfaktor.	**R18.10.3** *Gaya desain* – Geser desain untuk dinding struktural diperoleh dari analisis beban lateral dengan faktor beban yang sesuai. Namun, kemungkinan leleh pada komponen struktur tersebut harus diperhatikan, seperti pada bagian dinding di antara dua bukaan jendela, dalam hal ini geser aktual mungkin melebihi geser yang ditunjukkan oleh analisis lateral berdasarkan gaya desain terfaktor.
18.10.4 *Kekuatan geser*	**R18.10.4** *Kekuatan geser* – Pers. (18.10.4.1) menetapkan kekuatan geser yang lebih tinggi pada dinding dengan rasio geser-momen yang tinggi (Hirosawa 1977; Joint ACI-ASCE Committee 326 1962; Barda et al. 1977). Kekuatan geser nominal diberikan dalam luas penampang bersih yang menahan geser. Untuk penampang persegi tanpa bukaan, istilah A_{cv} mengacu pada luas penampang bruto bukan hasil kali lebar dan tinggi efektif. Definisi A_{cv} pada Pers. (18.10.4.1) memfalisitasi perhitungan desain untuk dinding dengan tulangan terdistribusi merata dan dinding dengan bukaan.
18.10.4.1 V_n dinding struktural tidak boleh melebihi $V_n = A_{cv}\left(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y\right)$ (18.10.4.1) dimana koefisien α_c adalah 0,25 untuk $h_w/\ell_w \le 1{,}5$; 0,17 untuk $h_w/\ell_w \ge 2{,}0$, dan bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/ℓ_w antara 1,5 dan 2,0.	
18.10.4.2 Pada 18.10.4.1, nilai rasio h_w/ℓ_w yang digunakan untuk menghitung V_n pada segmen-segmen dinding	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
haruslah nilai terbesar dari rasio h_w/ℓ_w untuk dinding keseluruhan dan untuk segmen dinding yang ditinjau.	Sebuah segmen vertikal dinding mengacu pada bagian dari dinding yang dibatasi secara horizontal oleh bukaan atau oleh bukaan dan tepi. Untuk dinding terisolasi atau segmen vertikal dinding, ρ_t mengacu pada tulangan horizontal dan ρ_ℓ mengacu pada tulangan vertikal.
18.10.4.3 Dinding harus memiliki tulangan geser terdistribusi dalam dua arah ortogonal pada bidang dinding. Jika h_w/ℓ_w tidak melebihi 2,0, rasio tulangan ρ_ℓ tidak boleh kurang dari rasio tulangan ρ_t.	Rasio h_w/ℓ_w mengacu pada keseluruh dimensi dinding, atau segmen dinding yang dibatasi oleh dua bukaan, atau satu bukaan dan tepi. Tujuan 18.10.4.2 untuk meyakinkan bahwa semua segmen unit dinding tersebut tidak memiliki kekuatan yang lebih besar dari kekuatan keseluruhan dinding. Meskipun begitu, sebuah segmen dinding dengan rasio h_w/ℓ_w lebih besar dari keseluruhan dinding harus diproporsikan untuk unit kekuatan yang terkait dengan rasio h_w/ℓ_w berdasarkan dimensi segmen tersebut.
18.10.4.4 Untuk semua segmen vertikal dinding yang secara bersama menahan gaya lateral, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66A_{cv}\sqrt{f_c'}$, dimana A_{cv} adalah luas bruto penampang dinding yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang. Untuk masing-masing segmen vertikal dinding individu, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f_c'}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang segmen vertikal dinding individu yang ditinjau.	Untuk menahan retak miring secara efektif, tulangan yang termasuk dalam ρ_t dan ρ_ℓ harus didistribusikan dengan tepat sepanjang lebar dan tinggi dinding (mengacu pada 18.10.4.3). Tulangan kord yang tersedia di dekat tepi-tepi dinding yang terkonsentrasi untuk menahan momen lentur tidak dimasukkan dalam menentukan ρ_t dan ρ_ℓ. Dalam batasan praktis, distribusi tulangan geser harus seragam dan dengan spasi yang kecil. Jika gaya geser terfaktor pada salah satu tingkat dalam struktur yang ditahan beberapa dinding atau beberapa segmen vertikal dinding dari dinding berlubang, asumsi kekuatan geser rata-rata untuk luasan penampang total yang tersedia dibatasi hingga $0,66\sqrt{f_c'}$ dengan persyaratan tambahan bahwa kekuatan geser unit yang ditetapkan untuk setiap satu segmen vertikal dinding tidak melebihi $0,83\sqrt{f_c'}$. Batas atas kekuatan yang akan kenakan pada salah satu komponen adalah untuk membatasi tingkat redistribusi gaya geser.
18.10.4.5 Untuk segmen dinding horizontal dan balok kopel, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f_c'}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang beton segmen dinding horizontal atau balok kopel.	Segmen horizontal dinding pada 18.10.4.5 mengacu pada bagian dinding di antara dua bukaan dinding yang berjajar vertikal (mengacu pada Gambar R18.10.4.5). Ini mengakibatkan, segmen vertikal dinding diputar sejauh 90 derajat. Segmen horizontal dinding ini juga disebut

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	sebagai balok kopel bila dua bukaan berjajar vertikal kearah tinggi bangunan. Ketika mendesain segmen horizontal dinding atau balok kopel, ρ_t mengacu pada tulangan vertikal dan ρ_ℓ mengacu pada tulangan horizontal.



Gambar R18.10.4.5 – Dinding dengan bukaan

18.10.5 *Desain untuk beban lentur dan aksial*

R18.10.5 *Desain untuk beban lentur dan aksial*

18.10.5.1 Dinding struktural dan bagian-bagian dari dinding tersebut yang mengalami kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sesuai 22.4. Beton dan tulangan longitudinal yang terangkur dengan baik dalam lebar efektif sayap, elemen batas, dan badan dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus ditinjau.

R18.10.5.1 Kekuatan lentur dinding atau segmen dinding ditentukan sesuai prosedur yang biasa digunakan untuk kolom. Kekuatan harus ditentukan dengan mempertimbangkan gaya aksial dan lateral yang dikenakan. Tulangan terkonstentrasi pada elemen batas dan didistribusikan pada sayap dan badan harus dimasukkan dalam perhitungan kekuatan berdasarkan analisis kompatibilitas regangan. Fondasi yang mendukung dinding harus didesain untuk menahan gaya elemen batas dan badan dinding. Untuk dinding dengan bukaan, pengaruh dari bukaan atau bukaan pada gaya lentur dan geser harus dipertimbangkan dan lintasan beban disekitar bukaan atau bukaan-bukaan harus diverifikasi. Konsep desain-kapasitas dan model *strut-and-tie* mungkin berguna untuk tujuan ini (Taylor et al, 1998).

18.10.5.2 Kecuali bila analisis yang lebih detail dilakukan, lebar efektif sayap harus diperlebar dari muka badan dinding yang ditinjau sejauh jarak yang sama dengan nilai terkecil dari setengah jarak antara badan dinding-dinding yang bersebelahan dan 25 persen tinggi total dinding.

R18.10.5.2 Bilamana penampang dinding berpotongan membentuk L-, T-, C-, atau bentuk potongan penampang lainnya, pengaruh dari sayap pada perilaku dinding harus diperhitungkan dengan memilih lebar sayap yang sesuai. Uji coba (Wallace, 1996) menunjukkan bahwa lebar efektif sayap meningkat dengan meningkatnya tingkat *drift* dan efektivitas sayap tekan berbeda dari sayap tarik. Nilai yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	digunakan untuk lebar efektivitas sayap tekan memiliki pengaruh yang sedikit pada kapasitas kekuatan dan deformasi dinding; karena itu, untuk penyederhanaan desain, sebuah nilai tunggal dari lebar sayap efektif berdasarkan estimasi dari lebar sayap tarik efektif digunakan pada tarik dan tekan.
18.10.6 *Elemen batas dinding struktural khusus*	**R18.10.6** *Elemen batas dinding struktural khusus*
18.10.6.1 Kebutuhan elemen batas khusus di tepi-tepi dinding struktural harus dievaluasi sesuai 18.10.6.2 atau 18.10.6.3. Persyaratan 18.10.6.4 dan 18.10.6.5 juga harus dipenuhi.	**R18.10.6.1** Dua pendekatan desain untuk mengevaluasi persyaratan pendetailan pada elemen batas dinding termasuk dalam 18.10.6.1. Ketentuan 18.10.6.2 mengizinkan penggunaan desain berbasis perpindahan untuk dinding, dimana detail struktural ditentukan langsung berdasarkan pada basis perpindahan lateral yang diharapkan pada dinding. Ketentuan 18.10.6.3 mirip dengan standar ACI 1995, dan tetap dipertahankan karena bersifat konservatif untuk menilai kebutuhan tulangan transversal pada elemen batas dinding pada banyak dinding. Ketentuan 18.10.6.4 dan 18.10.6.5 diterapkan untuk dinding struktural yang didesain berdasarkan 18.10.6.2 atau 18.10.6.3.
18.10.6.2 Dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2{,}0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial harus memenuhi (a) dan (b) atau harus didesain sesuai 18.10.6.3. a) Daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus bila $$c \geq \frac{\ell_w}{600(1{,}5\delta_u / h_w)} \qquad (18.10.6.2)$$ dan c sesuai nilai tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal, yang konsisten dengan arah perpindahan desain δ_u. Rasio δ_u/h_w harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005. b) Bila elemen batas khusus disyaratkan oleh (a), tulangan transversal elemen batas khusus harus diperpanjang pada	**R18.10.6.2** Bagian ini berdasarkan asumsi bahwa respons elastik pada dinding didominasi oleh aksi lentur pada penampang kritis leleh. Dinding harus diproporsikan sehingga penampang kritis terjadi ditempat yang diinginkan. Pers. (18.10.6.2) mengikuti pendekatan berbasis-perpindahan (Moehle 1992; Wallace and Orackal 2002). Pendekatan mengasumsikan bahwa elemen batas khusus diperlukan untuk pengekangan beton dimana regangan pada serat tekan terluar dinding melebihi nilai kritis ketika dinding berpindah hingga 1,5 kali dari simpangan desain. Pengali 1,5 pada simpangan desain telah ditambahkan pada Pers. (18.10.6.2) pada standar ini untuk menghasilkan persyaratan pendetailan yang lebih konsisten dengan kinerja SNI 1726 dengan probabilitas kegagalan yang rendah pada level MCE_R. Batas bawah 0,005 pada kuantitas δ_w/h_w menyaratkan tersedianya elemen batas khusus bila regangan tulangan pada elemen batas

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
arah vertikal, di atas dan di bawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari ℓ_w dan $M_u/4V_u$, kecuali yang diizinkan berdasarkan 18.10.6.4(g).	dinding tidak mencapai aproksimasi dua kali batas yang ditetapkan untuk penampang balok terkontrol tarik menurut 21.2.2. Batas bawah 0,005 pada kuantitas δ_w/h_w membutuhkan kapasitas deformasi dinding menengah untuk gedung kaku. Tinggi sumbu netral c pada Pers. (18.10.6.2) adalah ketinggian yang dihitung berdasarkan 22.2 berkaitan dengan kekuatan lentur nominal dari dinding ketika berpindah pada arah yang sama sebesar δ_u. Beban aksial adalah beban aksial terfaktor yang konsisten dengan kombinasi beban desain yang menghasilkan perpindahan desain δ_u. Tinggi dari elemen batas khusus berdasarkan estimasi panjang sendi plastis dan melampaui daerah dimana kelelehan pada tulangan tarik dan pengelupasan *(spalling)* beton kemungkinan dapat terjadi.
18.10.6.3 Dinding-dinding struktural yang tidak didesain sesuai 18.10.6.2 harus memiliki elemen-elemen batas khusus pada daerah batas dan daerah tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding struktural dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa, E, melebihi $0{,}2f'_c$. Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0{,}15f'_c$. Tegangan-tegangan harus dihitung berdasarkan beban-beban terfaktor menggunakan model elastik linier dan sifat-sifat penampang bruto. Untuk dinding-dinding dengan sayap, lebar efektif sayap yang digunakan harus sesuai 18.10.5.2.	**R18.10.6.3** Dengan prosedur ini, dinding dianggap bekerja terhadap beban gravitasi dan geser maksimum dan momen yang disebabkan oleh gempa dalam arah yang ditinjau. Pada saat beban ini bekerja, bagian batas yang tertekan pada bagian kritis menahan beban tributari gravitasi ditambah dengan resultan gaya tekan akibat momen lentur. Menyadari bahwa pembebanan ini dapat berulang berkali-kali saat gempa kuat, beton harus dikekang bilamana tegangan tekan yang dihitung melebihi nilai kritis nominal $0{,}2f_c'$. Tegangan harus dihitung terhadap gaya terfaktor pada penampang dengan mengasumsikan respons linier dari penampang bruto beton. Tegangan tekan $0{,}2f_c'$. digunakan sebagai nilai indeks dan tidak menggambarkan tegangan aktual yang dapat terjadi pada penampang kritis akibat pengaruh gaya inersia yang sebenarnya untuk intensitas gempa yang diantisipasi.
18.10.6.4 Bila elemen-elemen batas khusus diperlukan oleh 18.10.6.2 atau 18.10.6.3, maka a) hingga h) harus dipenuhi: a) Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari c –	**R18.10.6.4** Dimensi horizontal dari elemen batas khusus dimaksudkan untuk memperpanjang setidaknya sepanjang dimana regangan tekan beton mencapai nilai kritis. Untuk bagian sayap dinding, termasuk bentuk kotak, bentuk-L, dan bentuk-C, perhitungan untuk menentukan kebutuhan elemen batas khusus harus

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

$0{,}1\ell_w$ dan $c/2$, dimana c adalah tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang sesuai dengan δ_u yang ditinjau.

b) Lebar daerah tekan lentur, b, sepanjang jarak horizontal yang dihitung dengan 18.10.6.4(a), termasuk sayap bilamana ada, harus diambil minimal $h_u / 16$.

c) Untuk dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2{,}0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding, yang didesain memiliki penampang kritis tunggal untuk beban-beban lentur dan aksial, dan dengan $c/\ell_w \geq 3/8$, lebar daerah tekan lentur b disepanjang daerah yang dihitung berdasarkan 18.10.6.4(a) harus lebih besar dari atau sama dengan 300 mm.

d) Pada penampang-penampang bersayap, elemen batas harus termasuk lebar sayap efektif yang mengalami tekan dan harus diperpanjang minimal 300 mm ke dalam badan dinding.

e) Tulangan transversal elemen batas harus memenuhi 18.7.5.2(a) hingga (e) dan 18.7.5.3, kecuali bila nilai h_x dalam 18.7.5.2 tidak melebihi nilai terkecil antara 350 mm dan dua pertiga ketebalan elemen batas, dan batasan spasi tulangan transversal sesuai 18.7.5.3a) harus diambil sepertiga dari dimensi terkecil elemen batas.

f) Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 18.10.6.4(f).

Tabel 18.10.6.4(f) – Tulangan transversal untuk elemen batas khusus

Tulangan transversal	Persamaan yang berlaku		
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi	Nilai terbesar dari	$0{,}3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(a)
		$0{,}09\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(b)
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar dari	$0{,}45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(c)
		$0{,}12\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(d)

PENJELASAN

mencakup arah beban lateral konsisten dengan kombinasi ortogonal yang didefinisikan dalam SNI 1726. Nilai $c/2$ pada 18.10.6.4(a) untuk memberikan panjang minimum elemen batas khusus. Praktek pendetailan yang baik adalah untuk mengatur tulangan longitudinal dan tulangan pengekang sehingga semua tulangan longitudinal pada elemen batas dinding didukung oleh tulangan transversal.

Batas kelangsingan diperkenalkan pada standar ini berdasarkan kegagalan ketidakstabilan lateral pada elemen batas dinding langsing yang diamati pada gempa akhir-akhir ini dan hasil uji (Wallace 2012; Wallace et al. 2012). Untuk dinding dengan selimut beton yang tebal, ketika pengelupasan selimut beton akan mengakibatkan pengurangan penampang secara signifikan, peningkatan ketebalan elemen batas harus dipertimbangkan.

Nilai $c/\ell_w \geq 3/8$ digunakan untuk mendefinisikan bagian kritis dinding yang bukan terkontrol-tarik menurut 21.2.2. Ketebalan minimum dinding 300 mm untuk mengurangi kemungkinan ketidakstabilan lateral dari zona tekan setelah pengelupasan selimut beton.

Bilamana tegangan tekan pada sayap terlalu besar, tegangan bidang pertemuan badan-sayap akan sangat besar dan mungkin mengalami kegagalan hancur lokal kecuali tulangan elemen batas khusus diteruskan ke badan.

Persyaratan tulangan transversal pada elemen batas dinding berdasarkan ketentuan kolom. Ekspresi (a) dari Tabel 18.10.6.4(f) telah diaplikasikan pada elemen batas khusus dinding sebelum edisi 1999 dari standar ini. Ini dimasukkan kembali standar ini karena kekhawatiran Ekspresi (b) Tabel 18.10.6.4(f) tidak menyediakan tulangan transversal yang memadai untuk dinding tipis dimana selimut beton menyumbang bagian yang signifikan dari tebal dinding. Untuk elemen batas dinding khusus yang memiliki penampang persegi panjang, A_g dan A_{ch} pada baris (a) dan (c) pada Tabel 18.10.6.4(f) didefinisikan sebagai $A_g = \ell_{be}b$ dan $A_{ch} = b_{c1}b_{c2}$, dimana dimensinya ditunjukkan pada Gambar R18.10.6.4.1. Hal ini menganggap bahwa pengelupasan beton mungkin hanya

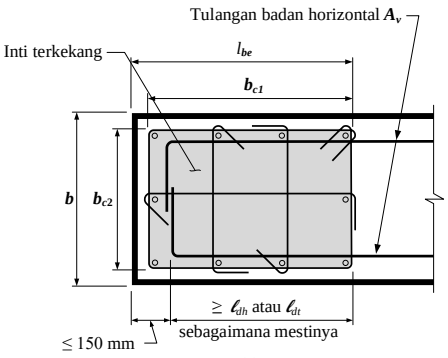
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
g) Bila penampang kritis terjadi di dasar dinding, maka tulangan transversal elemen batas pada dasar dinding harus diperpanjang ke dalam sistem tumpuan sejauh minimal ℓ_d, sesuai 18.10.2.3, yang dihitung berdasarkan tulangan longitudinal terbesar pada elemen batas khusus. Bila elemen batas khusus berhenti pada fondasi telapak, fondasi rakit atau *pile cap*, tulangan transversal elemen batas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam sistem-sistem fondasi tersebut, kecuali jika diperlukan perpanjangan yang lebih besar berdasarkan 18.13.2.	terjadi pada permukaan yang terekspos dari elemen batas yang terkekang. Batasan h_x dimaksudkan untuk menyediakan spasi sengkang pengekang dan ikat silang yang seragam untuk dinding yang tipis. Pengujian (Thomsen and Wallace 2004) menunjukkan bahwa kinerja yang memadai dapat dicapai dengan menggunakan spasi vertikal yang lebih besar dari yang diizinkan pada 18.7.5.3(a). Persyaratan untuk perpanjangan vertikal dari elemen batas dapat dilihat pada Gambar R18.10.6.4.2 (Moehle et al. 2011).
h) Tulangan horizontal pada badan dinding harus diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding. Tulangan tersebut harus diangkur dalam inti terkekang pada elemen batas menggunakan kait standar atau tulangan berkepala agar mencapai f_y. Bila panjang zona elemen batas terkekang cukup memadai untuk menyalurkan tulangan horizontal badan, dan $A_v f_y/s$ tulangan badan tidak melebihi $A_{sh} f_{yt}/s$ tulangan transversal elemen batas yang dipasang paralel dengan tulangan horizontal badan, maka tulangan horizontal badan tersebut dapat dihentikan tanpa kait standar atau kepala.	Tulangan horizontal pada dinding struktural dengan rasio geser terhadap momen yang kecil mampu menahan geser melalui mekanisme aksi rangka batang, dimana tulangan horizontal berfungsi sebagai sengkang seperti pada balok. Dengan demikian, tulangan horizontal yang disediakan untuk tulangan geser harus disediakan di antara inti terkekang elemen batas dan diperpanjang sedekat mungkin dengan ujung dinding sampai batas izin selimut beton dan terdekat penulangan lainnya. Persyaratan bahwa tulangan horizontal pada pelat badan harus diangkur ke dalam inti beton elemen batas yang terkekang dan diperpanjang hingga 150 mm dari ujung dinding untuk semua jenis tulangan horizontal baik itu tulangan lurus, kait, atau berkepala, seperti ilustrasi pada Gambar R18.10.6.4.1.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

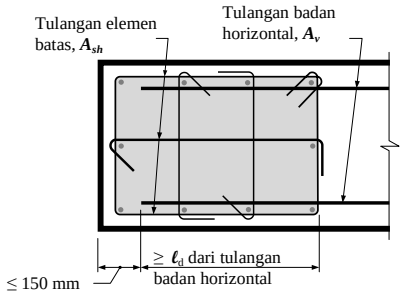
STANDAR

PENJELASAN



(a)

Pilihan dengan kait standar atau tulangan berkepala



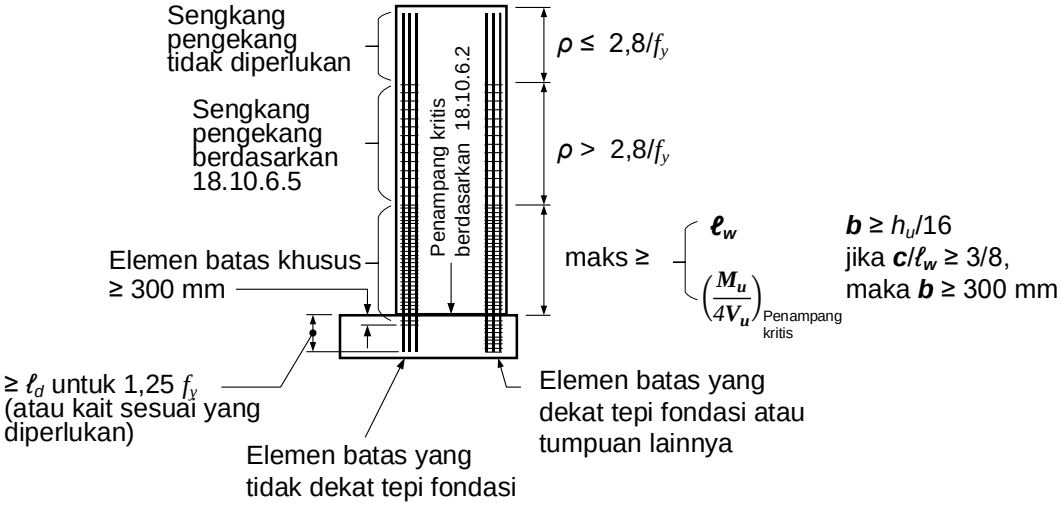
(b)

Pilihan dengan penyaluran lurus tulangan

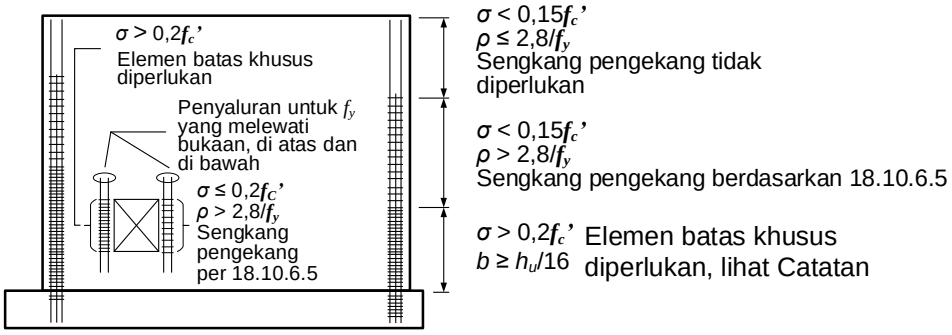
Gambar R18.10.6.4.1 – Panjang penyaluran tulangan horizontal dinding dalam elemen batas yang terkekang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**



(a) Dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2.0$ dan satu penampang kritis terkontrol beban lentur dan aksial yang didesain menggunakan 18.10.6.2, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5



Catatan: Persyaratan elemen batas khusus dipicu apabila maksimum tegangan tekan serat terluar σ > 0,2$f'c$. Bila diwajibkan, elemen batas khusus diperpanjang sampai σ < 0,15$f'c$. Bilamana $h_w/\ell_w \leq 2,0$, 18.10.6.4(c) menjadi tidak berlaku

(b) Dinding dan pilar dinding yang didesain menggunakan 18.10.6.3, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5

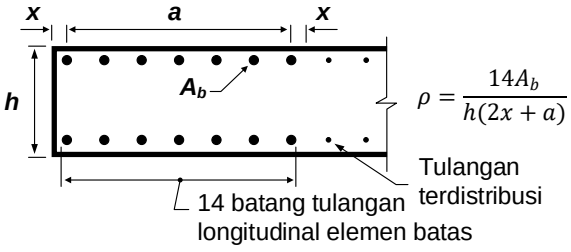
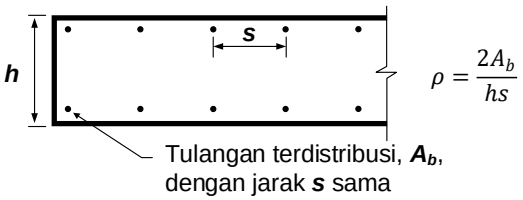
Gambar R18.10.6.4.2 – Rangkuman persyaratan elemen batas pada dinding khusus

18.10.6.5 Bila elemen batas khusus tidak diperlukan sesuai 18.10.6.2 atau 18.10.6.3, maka (a) dan (b) harus dipenuhi:

a) Jika rasio tulangan longitudinal pada elemen batas dinding melebihi $\mathbf{2,8/f_y}$, maka tulangan transversal pada elemen batas tersebut harus memenuhi 18.7.5.2(a) hingga (e), disepanjang jarak yang dihitung sesuai 18.10.6.4(a). Spasi arah longitudinal pada tulangan transversal tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 200 mm dan $\mathbf{8d_b}$ batang

R18.10.6.5 Beban siklik bolak-balik dapat menimbulkan tekuk tulangan longitudinal di elemen batas, bahkan dalam kasus dimana persyaratan pada dinding batas tidak memerlukan elemen batas khusus. Untuk dinding dengan jumlah penulangan longitudinal elemen batas yang moderat, Ikat silang disyaratkan untuk mencegah tekuk. Rasio tulangan longitudinal untuk elemen batas dinding ditunjukkan pada Gambar R18.10.6.5. Spasi sengkang yang relatif lebih besar dari 18.10.6.4(e) diizinkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tulangan lentur utama terkecil, kecuali spasi tersebut tidak melebihi nilai terkecil dari 150mm dan $6d_b$ di dalam zona sejauh nilai terbesar antara ℓ_w dan $M_u / 4V_u$ di atas dan di bawah penampang kritis di mana pelelehan tulangan longitudinal dapat terjadi akibat perpindahan lateral inelastik yang ditinjau.	karena tuntutan deformasi dinding yang lebih rendah. Persyaratan pada 18.10.6.5 berlaku untuk keseluruhan tinggi dinding dan dirangkum pada Gambar R18.10.6.4.2 untuk kasus dimana elemen batas khusus diperlukan (Moehle et al. 2011).
b) Kecuali bila V_u pada bidang dinding lebih kecil dari $0{,}083A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$, maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi-tepi dinding struktural tanpa elemen batas harus memiliki kait standar yang melingkupi tulangan tepi atau tulangan tepi tersebut harus dilingkupi dalam sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan, serta disambung-lewatkan pada, tulangan horizontal tersebut.	Tambahan kait atau sengkang-U pada ujung tulangan horizontal dinding memberikan penjangakaran sehingga tulangan dapat menahan gaya geser secara efektif. Ini juga dapat mencegah tekuk tulangan vertikal tepi. Di dinding dengan geser sebidang yang rendah, panjang penyaluran tulangan horizontal adalah tidak diperlukan.
	
	
	Gambar R18.10.6.5 – Rasio tulangan longitudinal untuk elemen batas dinding tipikal
18.10.7 *Balok kopel*	**R.18.10.7** *Balok kopel (coupling)* – Balok kopel yang menhubungkan dinding-dinding struktur dapat memberikan kekakuan dan disipasi energi. Dalam banyak kasus, batas geometris menghasilkan balok kopel yang tinggi dibandingkan dengan bentang bersihnya. Balok kopel yang tinggi akan dikendalikan oleh geser dan penurunan kekuatan dan kekakuannya sangat terpengaruh oleh beban gempa. Hasil-hasil pengujian (Paulay and Binney 1974; Barney et al. 1980) menunjukkan balok kopel tinggi dengan tulangan diagonal yang terkekang menyediakan tahanan yang cukup.
18.10.7.1 Balok-balok kopel dengan $(\ell_n/h) \geq 4$ harus memenuhi persyaratan 18.6, dengan elemen-elemen batas dinding diinterpretasikan sebagai kolom. Ketentuan 18.6.2.1(b) dan (c) tidak perlu dipenuhi bila dapat ditunjukkan melalui analisis bahwa balok tersebut memiliki stabilitas lateral yang mencukupi.	Eksperimen-eksperimen menunjukkan bahwa orientasi penulangan diagonal hanya efektif bila tulangan diletakkan dengan sudut yang besar. Karena itu, balok
18.10.7.2 Balok-balok kopel dengan $(\ell_n/h)<2$ dan dengan V_u melebihi $0{,}33A_{cv}\lambda\sqrt{f_c'}$ harus ditulangi dengan dua grup tulangan yang bersilangan yang ditempatkan secara diagonal dan simetris terhadap tengah bentang balok, kecuali bila dapat ditunjukkan bahwa kehilangan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

kekakuan dan kekuatan balok kopel tidak akan merusak kemampuan struktur dalam memikul beban vertikal struktur, akses keluar dari struktur, atau integritas komponen non-struktural dan sambungannya ke struktur.

18.10.7.3 Balok-balok kopel yang tidak diatur 18.10.7.1 atau 18.10.7.2 dapat diperkenankan untuk ditulangi oleh dua grup batang tulangan yang berpotongan yang ditempatkan secara diagonal serta simetris terhadap tengah bentang atau ditulangi sesuai 18.6.3 hingga 18.6.5, dengan elemen batas dinding diinterpretasikan sebagai kolom.

18.10.7.4 Balok-balok kopel yang ditulangi dengan dua grup tulangan yang bersilangan secara diagonal dan simetris terhadap tengah bentang harus memenuhi (a), (b), dan salah satu dari (c) atau (d), dan ketentuan 9.9 tidak perlu dipenuhi:

a) V_n harus dihitung dengan

$$V_n = 2A_{vd} f_y \sin\alpha \le 0,83\sqrt{f_c'}A_{cw} \quad (18.10.7.4)$$

dimana α adalah sudut antara batang-batang tulangan diagonal dan sumbu longitudinal balok kopel.

b) Masing-masing grup batang tulangan diagonal harus minimal terdiri dari empat tulangan yang dapat terdiri atas dua lapis atau lebih. Batang tulangan diagonal harus ditanam ke dalam dinding sejauh tidak kurang dari 1,25 kali panjang penyaluran untuk f_y dalam kondisi tarik.

c) Masing-masing kelompok batang tulangan diagonal harus dilingkupi oleh tulangan transversal persegi yang memiliki dimensi sisi luar ke sisi luar paling tidak $b_w/2$ pada arah paralel terhadap b_w dan $b_w/5$ sepanjang sisi-sisi lainnya, dimana b_w adalah lebar badan balok kopel. Tulangan transversal harus ditetapkan berdasarkan 18.7.5.2(a) hingga (e), dengan A_{sh} tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara (i) dan (ii) :

PENJELASAN

kopel yang memakai tulangan diagonal dibatasi pada balok yang mempunyai ratio $\ell_n/h < 4$. ACI 318 Edisi 2008 diubah untuk memperjelas bahwa balok kopel dengan rasio aspek menengah dapat ditulangi berdasarkan 18.6.3 hingga 18.6.5.

Tulangan-tulangan diagonal harus ditempatkan kira-kira simetris pada penampang balok kopel, dalam dua atau lebih lapisan. Tulangan yang ditempatkan secara diagonal dimaksudkan untuk menyediakan seluruh kekuatan geser dan momen pada balok. Design kekuatan momen yang berasal dari kombinasi tulangan diagonal dan longitudinal tidak tercakup pada ketentuan ini.

Dua pilihan pengekangan dapat dijelaskan. Berdasarkan 18.10.7.4(c), tiap komponen diagonal terdiri dari rangka tulangan longitudinal dan transversal seperti ditunjukkan pada Gambar R18.10.7(a). Kerangka terdiri dari sedikitnya empat tulangan longitudinal dan mengekang inti beton. Persyaratan dimensi-dimensi sisi dari kerangka dan intinya adalah untuk memberikan stabilitas yang cukup pada potongan melintang bila tulangan terbebani melebihi tegangan lelehnya. Dimensi minimum dan persyaratan jarak bersih tulangan dapat menentukan tebal dinding. Revisi dibuat pada ACI 318-2008 untuk memperbesar spasi tulangan transversal yang mengekang tulangan diagonal, untuk memperjelas bahwa kekangan diperlukan pada titik potong diagonal, dan untuk menyederhanakan desain tulangan longitudinal dan transversal di sekeliling perimeter balok; balok dengan pendetailan baru ini diharapkan berprilaku lebih baik. Rumus untuk tulangan transversal A_{sh} didasarkan kapasitas tekan penampang kolom ekuivalen yang dapat mencegah terkelupasnya selimut beton.

Bagian 18.10.7.4(d) mendeskripsikan pilihan kedua untuk kekangan tulangan diagonal yang diperkenalkan pada ACI 318 2008 (Gambar R18.10.7(b)) Pilihan kedua ini adalah untuk mengekang seluruh penampang balok, bukan kekangan tulangan diagonal individu. Pilihan ini dapat menyederhanakan penempatan), yang bisa sangat sulit dipasang bilamana tulangan

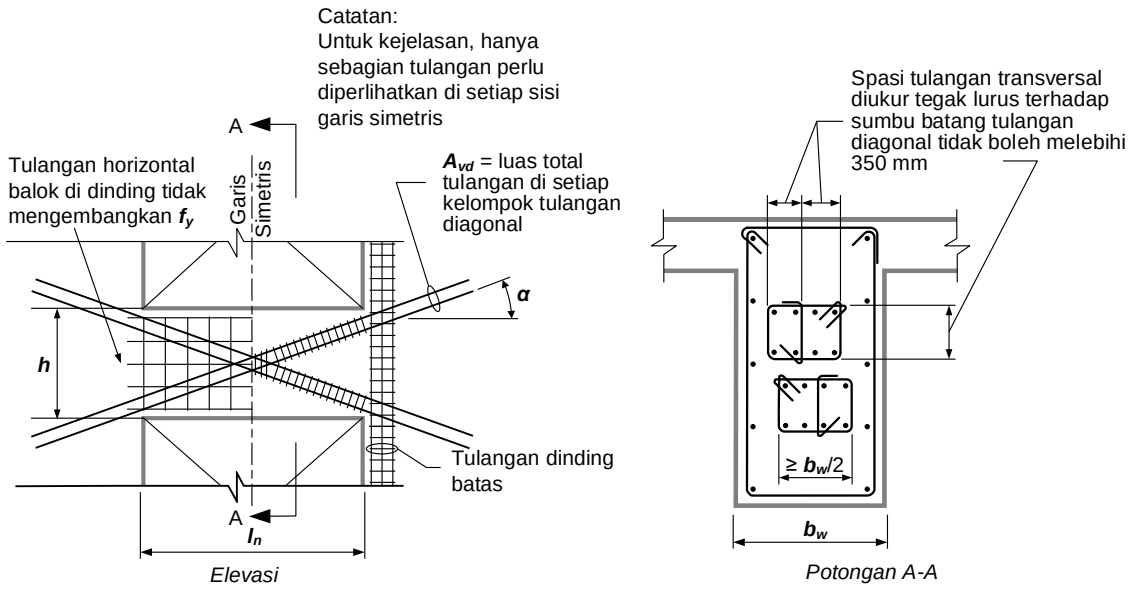
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
(i) $0,09sb_c\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (ii) $0,3sb_c\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$ Untuk keperluan perhitungan A_g, selimut beton pada 20.6.1 harus diasumsikan pada kesemua empat sisi dari masing-masing kelompok batang diagonal. Tulangan transversal harus mempunyai spasi terukur paralel terhadap batang tulangan diagonal yang memenuhi 18.7.5.3(c) dan tidak melebihi $6d_b$ dari diameter terkecil batang tulangan diagonal, dan harus memiliki spasi ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang yang diukur tegak lurus terhadap batang-batang diagonal tidak melebihi 350 mm. Tulangan transversal harus menerus melalui persilangan batang-batang diagonal. Pada persilangan tersebut, diizinkan untuk memodifikasi penempatan tulangan transversal asalkan persyaratan spasi dan rasio volumenya dipenuhi. Tambahan tulangan longitudinal dan transversal harus disebar di sekeliling perimeter balok dengan total luasan pada masing-masing arah minimal $\mathbf{0,002}b_w s$ dan spasinya tidak melebihi 300 mm. d) Tulangan transversal harus dipasang pada ke seluruh penampang balok sesuai 18.7.5.2(a) hingga (e) dengan A_{sh} tidak kurang dari nilai terbesar antara (i) dan (ii) : (i) $0,09sb_c\frac{f_c'}{f_{yt}}$ (ii) $0,3sb_c\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$ Spasi longitudinal tulangan transversal tidak boleh melebihi nilai terendah dari 150 mm dan $\mathbf{6}d_b$ batang tulangan diagonal terkecil. Spasi ikat silang atau kaki-kaki sengkang tertutup (*hoop*), baik arah vertikal dan horizontal pada tampang balok harus tidak melebihi 200 mm. Masing-masing ikat silang dan setiap kaki sengkang	diagonal memotong satu sama lain atau memasuki elemen batas dinding. Bila balok kopel tidak digunakan sebagai bagian dari sistem pemikul beban lateral, persyaratan untuk tulangan diagonal boleh diabaikan. Hasil uji (Barney et al. 1980) mendemonstrasikan bahwa balok yang ditulangi seperti yang dideskripsikan pada 18.10.7 mempunyai daktilitas yang cukup pada gaya geser melebihi $\mathbf{0,83}\sqrt{f_c'}b_w d$. Oleh karena itu, penggunaan batas $\mathbf{0,83}\sqrt{f_c'}A_{cw}$ memberikan batas atas yang dapat diterima.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

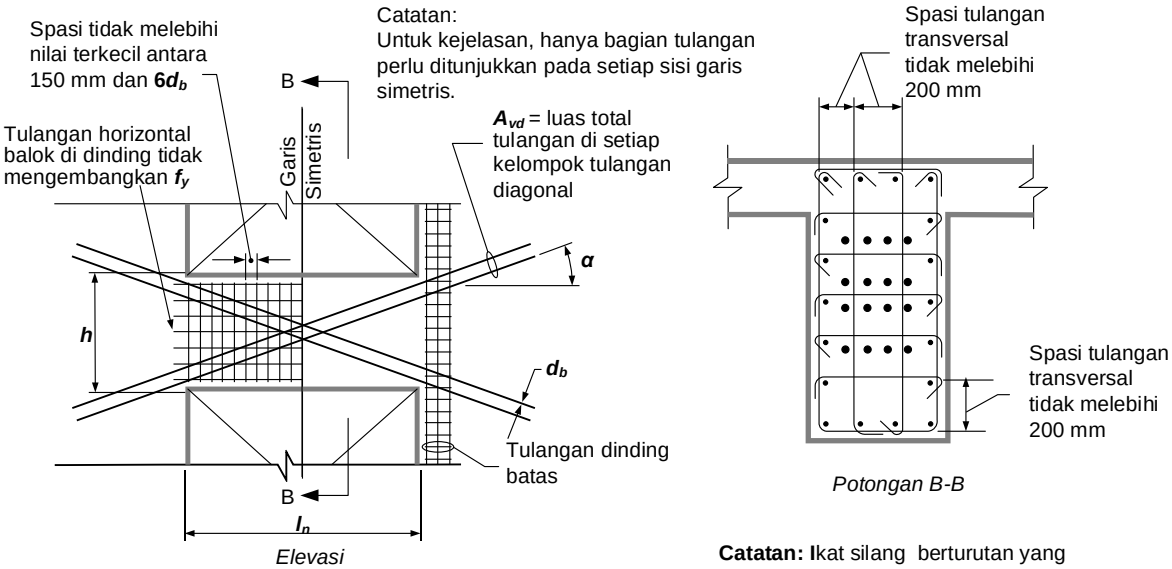
STANDAR	PENJELASAN

pengekang harus mengikat tulangan longitudinal dengan diameter yang sama atau lebih besar. Diizinkan untuk memasang sengkang pengekang sesuai 18.6.4.3.



(a) Kekangan tulangan diagonal individu

Catatan: Untuk kejelasan dalam tampak elevasi, hanya sebagian tulangan perlu total digambarkan di setiap sisi garis simetris



Catatan: Ikat silang berturutan yang mengikat tulangan longitudinal yang sama harus mempunyai kait 90° pada sisi balok berlawanan

(b) Kekangan penuh pada penampang balok beton dengan tulangan diagonal.

Gambar R18.10.7 – Balok kopel dengan tulangan diagonal. Tulangan dinding batas ditunjukkan hanya pada satu sisi saja untuk kejelasan

18.10.8 *Pilar-pilar dinding*

R18.10.8 *Pilar-pilar dinding* (*wall pier*) – Pintu dan jendela kadang-kadang ditempatkan pada dinding struktural

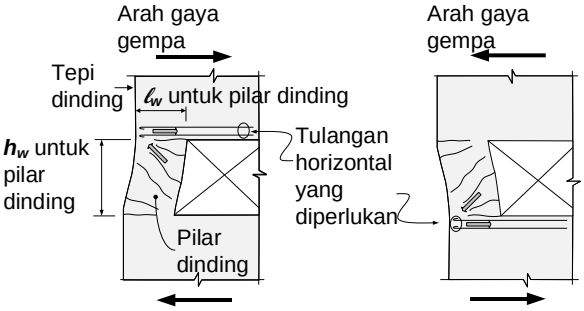
© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.10.8.1 Pilar-pilar dinding harus memenuhi persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus untuk kolom-kolom sesuai 18.7.4, 18.7.5, dan 18.7.6, dengan muka-muka *joint* ditetapkan sebagai ujung atas dan bawah tinggi bersih pilar dinding. Sebagai alternatif, pilar dinding dengan $(\ell_w/b_w) > 2{,}5$ harus memenuhi (a) hingga (f): a) Gaya geser desain harus dihitung sesuai 18.7.6.1 dengan muka-muka *joint* diambil sebagai ujung atas dan bawah tinggi bersih pilar dinding. Bila SNI 1726 menyertakan ketentuan untuk memperhitungkan faktor kekuatan lebih sistem pemikul gaya seismik, maka gaya geser desain tidak perlu melebihi Ω_o kali geser terfaktor yang ditentukan berdasarkan analisis struktur yang mempertimbangkan pengaruh gempa. b) V_n dan tulangan geser terdistribusi harus memenuhi 18.10.4. c) Tulangan transversal harus dalam bentuk sengkang tertutup kecuali diizinkan untuk menggunakan tulangan horizontal berkaki tunggal paralel terhadap ℓ_w dimana hanya satu lapis tulangan geser terdistribusi disediakan. Tulangan horizontal berkaki tunggal tersebut harus mempunyai tekukan 180 derajat pada setiap ujungnya yang mengkait tulangan longitudinal pada elemen batas pilar dinding. d) Spasi vertikal tulangan transversal tidak boleh melebihi 150 mm. e) Tulangan transversal tersebut harus diteruskan setidaknya 300 mm di atas dan di bawah dari ujung-ujung pilar dinding. f) Elemen batas khusus harus disediakan jika disyaratkan 18.10.6.3. **18.10.8.2** Untuk pilar dinding pada tepi suatu dinding, tulangan horizontal harus disediakan dalam segmen-segmen dinding yang berdekatan, di atas dan di bawah pilar dinding dan didesain untuk menyalurkan gaya geser desain dari pilar dinding ke dalam segmen-segmen dinding yang berdekatan.	menyebabkan segmen vertikal dinding yang ramping yang dianggap sebagai pilar dinding. Pendefinisian dimensi pilar dinding diberikan pada Pasal 2. Kegagalan geser pilar dinding telah diamati pada gempa-gempa terdahulu. Maksud dari bagian ini adalah untuk menyediakan kekuatan geser yang cukup pada pilar dinding sedemikian rupa sehingga respons inelastik didominasi oleh lentur. Ketentuan ini berlaku untuk pilar dinding yang didesain sebagai bagian dari sistem pemikul beban gempa. Ketentuan untuk pilar dinding yang tidak didesain sebagai bagian dari sistem pemikul beban gempa diberikan pada 18.14. Pengaruh semua segmen vertikal dinding pada respons sistem struktur, didesain sebagai bagian dari sistem pemikul beban gempa atau tidak, harus dipertimbangkan seperti yang disyaratkan pada 18.2.2. Pilar dinding yang mempunyai $(\ell_w/b_w) \leq 2{,}5$ akan berperilaku sebagai kolom. Ketentuan 18.10.8.1 mensyaratkan bahwa elemen struktur tersebut harus memenuhi penulangan dan persyaratan kekuatan geser pada 18.7.4 hingga 18.7.6. Ketentuan alternatif disediakan untuk pilar dinding yang mempunyai $(\ell_w/b_w) > 2{,}5$. Desain gaya geser yang ditentukan berdasarkan 18.7.6.1 mungkin terlalu besar untuk beberapa kasus. Sebagai alternatif, 18.10.8.1(a) mengizinkan desain gaya geser ditentukan menggunakan kombinasi beban terfaktor dimana pengaruh gempa telah ditingkatkan untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem. Dokumen-dokumen seperti ketentuan SNI 1726, NEHRP (FEMA P749), ASCE/SEI 7, dan IBC 2012 merepresentasikan efek gempa yang ditingkatkan menggunakan faktor Ω_o. Bagian 18.10.8.2 ditujukan untuk pilar dinding pada tepi sebuah dinding. Akibat geser sebidang, retak miring dapat merambat ke segmen dinding secara langsung di atas dan bawah pilar dinding. Kecuali jika terdapat tulangan yang cukup pada segmen-segmen dinding yang berdekatan, kegagalan geser pada segmen-segmen dinding dapat terjadi. Panjang penanaman (*embedment*) tulangan yang disediakan ke dalam segmen-segmen dinding yang berdekatan harus ditentukan dengan mempertimbangkan persyaratan panjang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	penyaluran dan kekuatan geser segmen-segmen dinding (lihat Gambar R18.10.8)



Gambar R18.10.8 – Persyaratan tulangan horizontal segmen dinding di atas dan bawah pilar dinding pada dinding tepi

18.10.9 *Joint konstruksi*

18.10.9.1 Semua *joint* konstruksi pada dinding struktural harus memenuhi 26.5.6 dan permukaan-permukaan kontak harus dikasarkan agar konsisten dengan kondisi (b) pada Tabel 22.9.4.2.

18.10.10 *Dinding tak menerus*

18.10.9.2 Kolom-kolom yang menumpu dinding struktural tak menerus harus ditulangi sesuai 18.7.5.6.

18.11 – Dinding struktural khusus beton pracetak

R18.11 – Dinding struktural khusus beton pracetak

19.11.1 *Ruang lingkup*

18.11.1.1 Persyaratan ini berlaku untuk dinding struktural khusus beton pracetak yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik.

18.11.2 *Umum*

R18.11.2 *Umum*

18.11.2.1 Dinding-dinding struktural khusus beton pracetak harus memenuhi persyaratan 18.10 dan 18.5.2.

18.11.2.2 Dinding-dinding struktural khusus beton pracetak dengan tendon pascatarik tanpa lekatan dan tidak memenuhi persyaratan 18.11.2.1 diizinkan asalkan dinding-dinding tersebut memenuhi persyaratan ACI ITG-5.1.

R18.11.2.2 Studi-studi eksperimen dan analisis (Priestley et al. 1999; Perez et al. 2003; Restrepo 2002) menunjukkan bahwa beberapa jenis dinding struktural pracetak pascatarik dengan tendon tanpa lekatan, dan tidak memenuhi persyaratan preskriptif pada Pasal 18, memberikan karakteristik kinerja gempa yang memuaskan. ACI ITG-

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

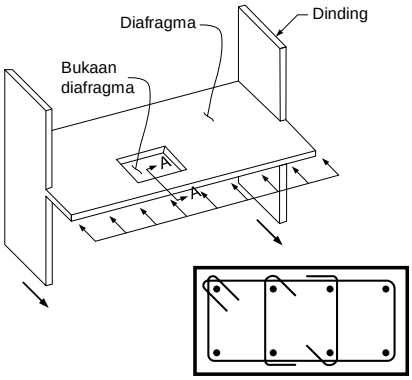
STANDAR	PENJELASAN
	5.1 mendefinisikan protokol untuk membuat prosedur desain, divalidasi dengan analisis dan uji laboratorium, untuk dinding tersebut, dengan atau tanpa balok kopel. ACI ITG-5.2 mendefinisikan persyaratan desain untuk satu jenis dinding struktural khusus yang dibangun menggunakan beton pracetak dan tendon tanpa lekatan pascatarik, dan divalidasi untuk digunakan sesuai 18.11.2.2.
18.12 – Diafragma dan rangka batang **18.12.1** *Ruang lingkup*	**R18.12 – Diafragma dan rangka batang** **R18.12.1** *Ruang Lingkup* – Diafragma sebagaimana dipakai dalam konstruksi bangunan adalah komponen struktural (seperti lantai atau atap) yang memberi sebagian atau semua fungsi di bawah ini:
18.12.1.1 Persyaratan ini berlaku untuk diafragma dan kolektor yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F.	(a) Pemikul komponen struktur bangunan (seperti dinding, dinding pemisah dan *cladding*) penahan gaya horizontal tapi bukan merupakan bagian dari sistem pemikul beban gempa (b) Mentrasfer beban lateral dari titik tangkap ke elemen vertikal dari sistem pemikul beban gempa (c) Sambungan dari berbagai komponen dari sistem pemikul beban gempa vertikal dengan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas yang sesuai sehingga respons bangunan berprilaku seperti yang diinginkan dalam desain (Wyllie 1987)
18.12.1.2 Persyaratan 18.12.11 berlaku untuk rangka batang yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F.	
18.12.2 *Gaya desain*	**R18.12.2** *Gaya desain*
18.12.2.1 Gaya desain gempa untuk diafragma harus diperoleh dari peraturan SNI 1726.	**R18.12.2.1** Dalam SNI 1726, gaya gempa desain untuk diafragma lantai dan atap biasanya tidak dihitung secara langsung pada saat analisis gaya lateral yang menghasilkan gaya tingkat dan geser tingkat. Tetapi desain gaya diafragma pada setiap tingkat dihitung menggunakan rumus yang meningkatkan gaya tingkat yang menyertakan efek dinamik dan termasuk batas minimum dan maksimum. Gaya-gaya ini digunakan dengan kombinasi beban yang menentukan untuk desain diafragma untuk geser dan momen. Untuk elemen kolektor, SNI 1726 menentukan kombinasi beban yang memperbesar gaya gempa dengan sebuah faktor Ω_0. Gaya yang diperbesar dengan Ω_0 juga digunakan untuk gaya geser diafragma lokal yang dihasilkan dari

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	transfer gaya kolektor, dan untuk momen lentur diafragma lokal yang dihasilkan dari setiap eksentrisitas gaya kolektor. Ketentuan khusus desain gaya gempa untuk diafragma dan kolektor tergantung pada edisi SNI 1726 yang digunakan. Persyaratan bisa juga bervariasi berdasarkan KDS. Untuk kebanyakan bangunan beton yang dituntut mengalami gempa inelastik, perlu pembatasan perilaku inelastik diafragma lantai dan atap akibat gaya gempa dan deformasi yang dikenakan. Perilaku inelastik diharapkan terjadi hanya pada lokasi-lokasi yang dinginkan dari sistem pemikul beban seismik vertikal yang didetail untuk respons daktil, seperti sendi plastis balok pada sistem rangka pemikul momen khusus, atau sendi plastis lentur pada dasar dinding structural atau balok kopel. Untuk bangunan yang tidak terdapat bentang diafragma yang panjang antara elemen pemikul gaya lateral, perilaku diafragma elastik biasanya tidak sulit untuk dicapai. Untuk bangunan dimana diafragma mencapai kapasitas gaya geser dan lenturnya sebelum leleh terjadi pada sistem pemikul gaya seismik vertikal, perencana harus mempertimbangkan penambahan kekuatan diafragma.
18.12.3 *Lintasan beban seismik*	**R18.12.3** *Lintasan beban seismic*
18.12.3.1 Semua diafragma dan sambungannya harus didesain dan didetailkan untuk memastikan penyaluran gaya ke elemen kolektor dan ke elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik.	
18.12.3.2 Elemen-elemen sistem diafragma struktur yang dikenai utamanya gaya aksial dan digunakan untuk menyalurkan gaya geser atau lentur diafragma di sekeliling bukaan atau bentuk-bentuk diskontinuitas lainnya harus memenuhi persyaratan untuk kolektor sesuai 18.12.7.5 dan 18.12.7.6.	**R18.12.3.2** Ketentuan ini berlaku untuk elemen yang berperilaku sebagai *strut* yang terjadi di sekeliling bukaan, tepi diafragma, atau diskuntinuitas pada diafragma. Gambar R18.12.3.2 menunjukkan sebuah contoh. Elemen tersebut dapat mengalami gaya aksial gempa dengan kombinasi lentur dan geser dari gempa atau beban gravitasi.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 *Potongan A-A* **Gambar R18.12.3.2 – Contoh diafragma mengikuti persyaratan 18.12.3.2 dan elemen yang memiliki kekangan yang disyaratkan 18.12.7.5**
18.12.4 *Pelat diafragma dengan penutup komposit cor di tempat*	**R18.12.4** Pelat diafragma dengan penutup komposit cor ditempat
18.12.4.1 Pelat penutup komposit yang dicor di atas lantai atau atap pracetak diizinkan untuk digunakan sebagai diafragma struktural, asalkan pelat penutup cor di tempat tersebut ditulangi dan permukaan beton pracetak di bawahnya yang sudah lebih dahulu mengeras harus bersih, bebas dari lapisan lunak (*laitance*), dan dikasarkan dengan sengaja.	**R18.12.4.1** Pelat penutup yang terlekat diperlukan sehingga sistem lantai atau atap dapat menahan tekuk pelat. Penulangan diperlukan untuk menjamin kontinuitas transfer geser melewati *joint* pracetak. Persyaratan sambungan diberikan untuk mengembangkan sistem yang lengkap dengan transfer geser yang diperlukan.
18.12.5 *Pelat diafragma dengan penutup nonkomposit cor di tempat*	**R18.12.5** Pelat diafragma dengan penutup non-komposit cor ditempat
18.12.5.1 Pelat penutup nonkomposit yang dicor di atas lantai atau atap pracetak diizinkan untuk bekerja sebagai diafragma struktural, asalkan pelat penutup cor di tempat tersebut diperhitungkan bekerja sendirian, serta didesain dan didetailkan untuk menahan gaya-gaya gempa desain.	**R18.12.5.1** Aksi komposit antara lantai dan lapisan penutup lantai pracetak tidak disyaratkan, asalkan lapisan penutup beton direncanakan untuk menahan gaya gempa rencana.
18.12.6 *Tebal minimum diafragma*	**R18.12.6** Tebal minimum diafragma
18.12.6.1 Tebal pelat beton dan pelat penutup komposit yang bekerja sebagai diafragma struktural untuk menyalurkan gaya gempa tidak boleh kurang dari 50 mm. Pelat penutup yang dicor di atas elemen lantai atau atap pracetak, yang bekerja sebagai diafragma struktur dan tidak membentuk aksi komposit dengan elemen-elemen pracetak di bawahnya dalam	**R18.12.6.1** Tebal minimum diafragma beton mencerminkan praktek sistem pelat berusuk dan *waffle* dan sistem penutup pelat komposit di atas lantai dan atap pracetak saat ini. Pelat yang lebih tebal disyaratkan bila lapisan penutup pelat tidak bekerja secara komposit dengan sistem pracetak untuk menahan gaya gempa desain.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
menahan gaya gempa desain, harus mempunyai tebal tidak kurang dari 65 mm.	
18.12.7 *Tulangan*	**R18.12.7** *Tulangan*
18.12.7.1 Rasio tulangan minimum untuk diafragma struktural harus memenuhi 24.4. Kecuali untuk pelat pascatarik, spasi tulangan sistem lantai atau atap pada setiap arah tidak boleh melebihi 450 mm. Bila tulangan jaring kawat las digunakan sebagai tulangan yang terdistribusi untuk menahan geser pada pelat penutup yang dicor di atas elemen-elemen lantai dan atap pracetak, kawat-kawat jaring yang paralel terhadap bentang elemen-elemen pracetak harus dispasikan tidak kurang dari 250 mm pusat ke pusat. Tulangan yang disediakan untuk kekuatan geser harus menerus dan harus terbagi merata pada bidang geser.	**R18.12.7.1** Ratio minimum tulangan untuk diafragma sesuai dengan jumlah yang diperlukan untuk tulangan suhu dan susut (lihat 24.4). Spasi maksimum tulangan dimaksudkan untuk mengendalikan lebar retak miring. Persyaratan minimum prategang rata-rata (lihat 24.4.4.1) dianggap cukup dapat membatasi lebar retak pada sistem lantai pascatarik; karena itu, persyaratan spasi maksimum tidak berlaku untuk sistem ini. Persyaratan spasi minimum untuk jaringan kawat las (*welded wire fabric*) di lapisan penutup pelat sistem lantai pracetak dimaksudkan untuk mencegah tulangan yang telah terdistribusi putus saat terjadi gempa. Retak-retak di lapisan penutup pelat di atas batas antara flens dan komponen struktur pracetak di sebelahnya mudah terbuka, dan kawat-kawat melintasi retak-retak tersebut ditahan oleh kawat-kawat melintang (Wood et al. 2000). Karena itu, semua deformasi terkait retak harus dapat diakomodasi oleh jarak yang ditentukan oleh spasi kawat-kawat melintang. Spasi minimum 250 mm untuk kawat-kawat melintang dipilih untuk mereduksi kemungkinan fraktur kawat-kawat melintasi retak-retak kritis pada saat terjadi gempa rencana. Persyaratan spasi minimum tidak berlaku pada tulangan diafragma dengan tulangan individual karena regangan terdistribusi lebih panjang.
18.12.7.2 Tendon terlekat yang digunakan sebagai tulangan untuk menahan gaya kolektor atau geser diafragma atau tarik lentur harus didesain sedemikian hingga tegangan akibat gaya gempa tidak melebihi 420 MPa. Pengaruh prategang dari tendon tanpa lekatan diizinkan untuk menahan gaya-gaya desain diafragma jika lintasan beban gempa tersedia.	
18.12.7.3 Semua tulangan yang digunakan untuk menahan gaya-gaya kolektor, geser diafragma, atau tarik lentur	**R18.12.7.3** Panjang penyaluran tulangan tarik dan sambungan lewatan didesain berdasarkan persyaratan Pasal 25. Reduksi panjang penyaluran atau panjang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
harus disalurkan atau disambung-lewatkan agar dapat mencapai f_y dalam kondisi tarik.	sambungan lewatan untuk tegangan yang dihitung kurang dari f_y tidak dizinkan. Seperti ditunjukkan pada 25.4.10.2.
18.12.7.4 Bila sambungan mekanis digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya antara diafragma dan elemen-elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik maka diperlukan sambungan mekanis Tipe 2	
18.12.7.5 Elemen-elemen kolektor dengan tegangan tekan melebihi $0{,}2f_c'$ pada sebarang penampang harus diberi tulangan transversal sesuai 18.7.5.2(a) hingga (e) dan 18.7.5.3, kecuali batasan spasi 18.7.5.3(a) harus sepertiga dari dimensi terkecil kolektor. Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 18.12.7.5. Tulangan transversal yang disyaratkan diizinkan untuk dihentikan pada penampang dimana tegangan tekan yang terjadi kurang dari $0{,}15f_c'$. Bila gaya-gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan faktor kekuatan lebih elemen-elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik, batasan $0{,}2f_c'$ harus ditingkatkan menjadi $0{,}5f_c'$, dan batasan $0{,}15f_c'$ harus ditingkatkan menjadi $0{,}4f_c'$.	**R18.12.7.5** Pada dokumen seperti NEHRP (FEMA P750), ASCE/SEI 7, IBC 2012, dan UBC (ICBO 1997), elemen kolektor diafragma didesain untuk gaya yang dikalikan dengan suatu faktor Ω_0 untuk memperhitungkan kekuatan lebih pada elemen vertikal sistem pemikul beban gempa. Faktor amplifikasi Ω_0 berkisar antara 2 dan 3 untuk struktur beton pada umumnya, tergantung pada dokumen yang dipilih dan jenis sistem pemikul beban gempa. Pada beberapa dokumen, faktor tersebut dapat dihitung berdasarkan gaya maksimum yang dapat dicapai oleh elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik. Tegangan tekan yang dihitung untuk gaya terfaktor pada model elastik linier berdasarkan penampang bruto diafragma struktural digunakan sebagai suatu nilai indeks untuk menentukan apakah tulangan pengekang diperlukan. Tegangan tekan yang dihitung $0{,}2f_c'$, atau $0{,}5f_c'$ untuk gaya yang diperbesar oleh Ω_0, diasumsikan untuk menunjukkan bahwa integritas seluruh struktur tergantung pada kemampuan elemen struktur tersebut untuk menahan gaya tekan yang besar akibat beban siklis. Tulangan transversal dibutuhkan pada lokasi tersebut untuk menyediakan kekangan pada beton dan tulangan.

Tabel 18.12.7.5 – Tulangan transversal untuk elemen kolektor

Tulangan transversal	Persamaan yang berlaku		
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi	$0,09\frac{f_c'}{f_{yt}}$		(a)
ρ_s untuk spiral atau sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar dari	$0,45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(b)
		$0,12\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(c)

18.12.7.6 Pendetailan tulangan longitudinal untuk elemen-elemen kolektor	**R18.12.7.6** Bagian ini dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan tekuk tulangan dan menyediakan penyaluran tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pada sambungan lewatan dan daerah pengangkuran harus memenuhi a) atau b): a) Spasi pusat ke pusat setidaknya tiga kali diameter tulangan longitudinal, tapi tidak kurang dari 40 mm, dan tebal selimut bersih beton setidaknya dua setengah kali diameter tulangan longitudinal, tapi tidak kurang dari 50 mm b) Luas tulangan transversal A_v yang disediakan haruslah minimum sebesar $0,062\sqrt{f_c'}(b_w s / f_{yt})$ dan $0,35 b_w s / f_{yt}$ kecuali sebagaimana disyaratkan 18.12.7.5.	yang memadai di sekitar sambungan dan zona pengangkuran.
18.12.8 *Kekuatan lentur*	**R18.12.8** *Kekuatan lentur*
18.12.8.1 Diafragma dan bagian diafragma harus didesain untuk lentur sesuai Pasal 12. Pengaruh bukaan harus diperhitungkan.	**R18.12.8.1** Kekuatan lentur untuk diafragma dihitung menggunakan asumsi yang sama dengan dinding, kolom, dan balok. Desain diafragma untuk lentur dan aksi lainnya menggunakan kombinasi pembebanan yang berlaku pada 5.3.1 mempertimbangkan gaya gempa yang bekerja bersamaan dengan gaya gravitasi atau beban lainnya. Pengaruh bukaan pelat pada kekuatan lentur dan geser harus diperhitungkan, termasuk mengevaluasi bagian kritis yang dihasilkan oleh bukaan. Model *strut-and-tie* berpotensi digunakan untuk desain diafragma dengan bukaan. Praktik desain sebelumnya mengasumsikan desain momen diafragma ditahan seluruhnya oleh gaya kord (*chord*) yang bekerja pada tepi berlawanan diafragma. Idealisasi ini secara implisit terdapat dalam standar versi sebelumnya, tetapi telah diganti dengan sebuah pendekatan dimana semua tulangan longitudinal, dalam batas-batas 18.12.7, diasumsikan berkontribusi pada kekuatan lentur diafragma. Perubahan ini mengurangi luas tulangan longitudinal perlu yang terkonsentrasi di dekat tepi diafragma, tetapi harus tidak ditafsirkan sebagai persyaratan untuk menghilangkan semua tulangan batas.
18.12.9 *Kekuatan geser*	**R18.12.9** *Kekuatan geser* – Persyaratan kekuatan geser diafragma mirip dengan dinding struktural langsing (*slender structural walls*) dan berdasarkan ketentuan geser untuk balok. A_{cv}
18.12.9.1 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

$$V_n = A_{cv}(0{,}17\lambda\sqrt{f_c'} + \rho_t f_y)$$
(18.12.9.1)

Untuk diafragma dengan penutup cor di tempat di atas pelat lantai atau atap pracetak, A_{cv} harus dihitung menggunakan a) hanya tebal pelat penutup untuk diafragma dengan pelat penutup nonkomposit dan b) gabungan tebal elemen cor di tempat dan pracetak untuk diafragma dengan penutup komposit. Untuk diafragma dengan penutup komposit, nilai f_c' yang digunakan untuk menentukan V_n haruslah nilai terkecil antara f_c' untuk komponen struktur pracetak dan f_c' untuk penutup cor di tempat.

18.12.9.2 V_n diafragma struktur tidak boleh melebihi $0{,}66A_{cv}\sqrt{f_c'}$.

18.12.9.3 Di atas daerah sambungan antara elemen-elemen pracetak pada diafragma dengan penutup komposit dan nonkomposit, V_n tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \qquad (18.12.9.3)$$

dimana A_{vf} adalah luas total tulangan geser friksi pada pelat penutup, termasuk tulangan terdistribusi dan elemen batas, yang mengarah tegak lurus terhadap bidang sambungan antar elemen pracetak dan koefisien friksi, μ, adalah $1{,}0\lambda$, dimana λ diberikan dalam 19.2.4. Paling sedikit setengah A_{vf} harus didistribusikan merata sepanjang bidang geser potensial. Luas tulangan terdistribusi pada pelat penutup harus memenuhi 24.4.3.2 di masing-masing arah.

18.12.9.4 Di atas daerah sambungan antara elemen-elemen pracetak pada diafragma dengan penutup komposit dan nonkomposit, V_n tidak boleh melebihi batasan pada 22.9.4.4, dimana A_c dihitung menggunakan tebal pelat penutup saja.

PENJELASAN

didefinisikan sebagai luas bruto diafragma, tetapi tidak perlu melebihi tebal dikali lebar diafragma. Ini sesuai dengan luas bruto dari balok tinggi efektif yang membentuk diafragma. Tulangan pelat terdistribusi ρ_t digunakan untuk menghitung gaya geser diafragma pada Pers.(18.12.9.1) diposisikan tegak lurus terhadap tulangan lentur diafragma. Ketentuan 18.12.9.2 membatasi gaya geser maksimum diafragma.

Selain itu, untuk memenuhi 18.12.9.1 dan 18.12.9.2, pelat diafragma dengan lapisan penutup cor ditempat juga harus memenuhi 18.12.9.3 dan 18.12.9.4. Pelat penutup cor ditempat pada sistem lantai dan atap pracetak cenderung mengalami retak susut yang sejajar dengan *joint* antara elemen pracetak yang berdekatan. Oleh karena itu, gaya geser tambahan diperlukan untuk diafragma pelat penutup pada 18.12.9.3 berdasarkan model geser friksi (Wood et al. 2000), dan bidang retak yang diasumsikan sesuai dengan *joint* pada sistem pracetak sepanjang arah geser yang diterapkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R22.9.4.3. Koefisien friksi, μ, pada model geser friksi diambil sama dengan 1,0 untuk beton normal karena adanya retak susut ini.

Tulangan terdistribusi dan tulangan batas pada pelat penutup dapat dianggap sebagai tulangan geser friksi A_{vf}. Tulangan batas diafragma disebut sebagai tulangan kord (*chord*) pada ACI 318 sebelum 2008. Meskipun tulangan batas juga menahan gaya akibat momen dan gaya aksial pada diafragma, pengurangan tahanan geser friksi pada zona tarik diimbangi dengan peningkatan tahanan geser friksi pada zona tekan. Oleh karena itu, luas tulangan batas digunakan untuk menahan geser friksi tidak perlu ditambahkan pada luas tulangan batas yang digunakan untuk menahan momen dan gaya aksial. Tulangan pelat penutup terdistribusi harus berkontribusi minimal setengah dari kekuatan geser nominal. Diasumsikan bahwa sambungan antara elemen pracetak tidak berkontribusi pada kekuatan geser diafragma pelat penutup.

Ketentuan 18.12.9.4 membatasi maksimum geser yang dapat salurkan oleh geser friksi diafragma pelat penutup.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

18.12.10 *Sambungan konstruksi*

18.12.10.1 *Sambungan* konstruksi pada diafragma harus memenuhi 26.5.6 dan permukaan bidang kontak harus dikasarkan sesuai kondisi (b) pada Tabel 22.9.4.2.

18.12.11 *Rangka batang struktural*

18.12.11.1 Elemen-elemen rangka batang struktural dengan kekuatan tekan melebihi $0{,}2f_c'$ pada sebarang penampang harus diberi tulangan transversal sesuai 18.7.5.2, 18.7.5.3, 18.7.5.7, dan Tabel 18.12.11.1, sepanjang elemen tersebut.

Tabel 18.12.11.1 – Tulangan transversal untuk rangka batang

Tulangan transversal	Persamaan yang berlaku		
A_{sh}/sb_c untuk sengkang pengekang persegi	Nilai terbesar	$0{,}3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(a)
		$0{,}09\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(b)
ρ_s untuk spiral atau sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar	$0{,}45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(c)
		$0{,}12\frac{f_c'}{f_{yt}}$	(d)

18.12.11.2 Semua tulangan menerus pada elemen rangka batang struktural harus disalurkan dan disambung-lewatkan agar dapat mencapai f_y dalam kondisi tarik.

18.13 - Fondasi

18.13.1 *Ruang Lingkup*

18.13.1.1 Persyaratan 18.13 berlaku untuk fondasi yang menahan gaya gempa atau menyalurkan gaya gempa antara struktur dan tanah pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F.

R18.12.11 *Rangka batang struktural*

R18.12.11.1 Tulangan transversal A_{sh} didasarkan untuk memastikan kapasitas tekan penampang kolom ekuivalen dapat dipertahankan setelah selimut beton mengalami pengelupasan.

R18.13 - Fondasi

R18.13.1 *Ruang Lingkup* – persyaratan untuk fondasi yang mendukung bangunan yang terkena KDS D, E, atau F mewakili sebuah konsensus tingkat minimum praktik yang baik dalam perencanaan dan pendetailan fondasi beton termasuk tiang pancang, tiang bor, dan kaison-kaison. Diharapkan respons inelastik akibat getaran tanah (gempa) kuat hanya terjadi di atas fondasi, karena perbaikan fondasi sangat sulit dan mahal.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.13.1.2 Ketentuan-ketentuan dalam subpasal ini untuk tiang fondasi, *pier*, *caisson*, dan pelat di atas tanah harus melengkapi kriteria desain dan konstruksi peraturan umum yang sesuai lainnya, termasuk 1.4.5 dan 1.4.6.	
18.13.2 *Fondasi telapak, fondasi rakit, dan pile cap*	**R18.13.2** *Fondasi telapak, fondasi rakit, dan pile cap*
18.13.2.1 Tulangan longitudinal kolom dan dinding struktur yang menahan gaya gempa harus menerus ke dalam fondasi telapak, fondasi rakit, atau *poer (pile cap)*, dan harus sepenuhnya disalurkan untuk menahan tarik pada bidang kontak.	
18.13.2.2 Kolom yang didesain dengan mengasumsikan kondisi ujung terjepit pada fondasi harus memenuhi 18.13.2.1 dan, bila kait diperlukan, tulangan longitudinal yang menahan lentur harus mempunyai kait 90 derajat dekat permukaan bawah fondasi dengan ujung bebas batang tulangan tersebut diorientasikan kearah sumbu pusat kolom.	**R18.13.2.2** Hasil uji (Nilson and Losberg 1976) membuktikan komponen-komponen struktur lentur yang berhenti di fondasi telapak, pelat, atau balok (suatu T-*joint*) kaitnya harus menghadap ke dalam ke arah sumbu dari komponen struktur agar titik kumpul (*joint*) dapat menahan lentur di komponen struktur yang merupakan badan (*stem*) dari T.
18.13.2.3 Kolom atau elemen batas dinding struktur khusus yang mempunyai tepi berjarak maksimum setengah tinggi fondasi telapak dari tepi fondasi telapak harus mempunyai tulangan transversal sesuai dengan 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 yang dipasang di bawah permukaan atas fondasi telapak. Tulangan ini harus menerus ke dalam fondasi telapak, fondasi rakit, atau *poer* dan disalurkan untuk f_y dalam kondisi tarik, pada tulangan longitudinal kolom atau elemen batas.	**R18.13.2.3** kolom-kolom atau elemen batas yang ditumpu dekat tepi fondasi sebagaimana sering terjadi pada garis tepi bangunan, harus didetail untuk mencegah kegagalan tepi fondasi telapak, *pile cap*, atau fondasi rakit (*mat*).
18.13.2.4 Bila pengaruh gempa menimbulkan gaya angkat (*uplift*) pada elemen batas dinding struktur khusus atau kolom, tulangan lentur harus disediakan pada sisi atas fondasi telapak, fondasi rakit, atau *poer* untuk menahan aksi-aksi yang dihasilkan kombinasi beban desain, dan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh 7.6.1 atau 9.6.1.	**R18.13.2.4** Tujuan dari bagian ini adalah untuk menekankan bahwa tulangan atas mungkin diperlukan, di samping penulangan perlu lainnya.
18.13.2.5 Penggunaan beton polos struktur pada fondasi telapak dan dinding basemen (*basement*) harus sesuai dengan 14.1.4.	**R18.13.2.5** Fondasi atau dinding basemen harus ditulangi pada bangunan yang terkena KDS D, E, atau F.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.13.3 *Balok dan* pelat *di atas tanah*	**R18.13.3** *Balok dan pelat di atas tanah* – Untuk kondisi gempa, pelat di atas tanah sering menjadi bagian sistem pemikul gaya lateral dan harus didesain sesuai standar ini juga standar lain yang sesuai atau pedoman-pedoman lain (lihat 1.4.7).
18.13.3.1 Balok-balok sloof (*grade*) yang didesain untuk bekerja sebagai pengikat horizontal antara *poer* atau fondasi telapak harus memiliki tulangan longitudinal menerus yang harus disalurkan dalam atau melewati kolom yang ditumpu atau diangkur dalam *poer* atau fondasi telapak pada semua diskontinuitas.	
18.13.3.2 Balok-balok sloof (*grade*) yang didesain untuk bekerja sebagai pengikat horizontal antara *poer* atau fondasi telapak harus diproporsikan sedemikian hingga dimensi penampang terkecil harus sama dengan atau lebih besar daripada spasi bersih antara kolom-kolom yang disambung dibagi dengan 20, tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm. Sengkang pengekang tertutup harus dipasang dengan spasi tidak melebihi yang lebih kecil dari setengah dimensi penampang ortogonal terkecil dan 300 mm.	**R18.13.3.2** Balok di atas tanah di antara *pile cap* atau fondasi telapak dapat berupa balok yang terpisah di bawah pelat di atas tanah atau dapat merupakan bagian penebalan pelat di atas tanah. Batasan dimensi penampang dan persyaratan minimum sengkang pengekang memberikan proporsi yang wajar.
18.13.3.3 Balok-balok sloof (*grade*) dan balok-balok yang merupakan bagian fondasi pelat rakit yang dikenai lentur dari kolom yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi 18.6.	**R18.13.3.3** Balok di atas tanah yang menahan tegangan lentur dari momen-momen kolom harus memiliki detail tulangan yang sama dengan balok-balok dari sistem rangka di atas fondasi.
18.13.3.4 Pelat di atas tanah yang menahan gaya gempa dari dinding atau kolom yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik harus didesain sebagai diafragma struktur sesuai dengan 18.12. Dokumen kontrak harus secara jelas menyatakan bahwa pelat di atas tanah merupakan diafragma struktur dan bagian sistem pemikul gaya seismik.	**R18.13.3.4** Pelat di atas tanah sering bekerja sebagai sebuah diafragma yang mengikat bangunan menjadi kesatuan pada level tanah dan meminimumkan pengaruh pergerakan tanah tak sebidang yang mungkin terjadi pada seluruh dasar bangunan. Dalam kasus semikian, pelat di atas tanah itu harus diberi tulangan dan didetail secukupnya. Gambar-gambar desain harus secara jelas menyatakan bahwa pelat di atas tanah adalah komponen struktural sehingga dilarang memotong pelat tersebut.
18.13.4 *Tiang fondasi, pier, dan caisson*	**R18.13.4** *Tiang fondasi, pier, dan caisson* – Kinerja yang cukup dari tiang fondasi dan *caisson* oleh beban gempa mensyaratkan bahwa ketentuan-ketentuan ini harus dipenuhi di samping standard lain atau pedoman-pedoman lain yang dapat digunakan (lihat R1.4.5).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
18.13.4.1 Tiang fondasi, *pier*, dan *caisson* yang menahan beban tarik harus memiliki tulangan longitudinal menerus sepanjang bagian tiang yang menahan gaya tarik desain. Tulangan longitudinal tersebut harus didetail untuk menyalurkan gaya tarik di dalam *poer* ke komponen struktur yang ditumpu.	**R18.13.4.1** Lintasan beban diperlukan pada *pile cap* untuk mentransfer gaya tarik dari tulangan tarik kolom atau elemen batas melalui *pile cap* menuju ke tulangan tiang fondasi atau *caisson*.
18.13.4.2 Bila gaya tarik yang ditimbulkan oleh pengaruh gempa disalurkan antara *poer* atau fondasi pelat rakit dan tiang fondasi pracetak dengan batang tulangan yang di-*grouting* atau dipasang sesudahnya pada ujung atas tiang fondasi, maka sistem *grouting* harus didemonstrasikan dengan pengujian mampu mengembangkan paling sedikit $1{,}25f_y$ batang tulangan.	**R18.13.4.2** Dowel yang digrouting pada sebuah *blockout* di ujung atas tiang beton pracetak perlu disalurkan, dan pengujian adalah cara praktis untuk menunjukkan kapasitasnya. Alternatifnya, batang tulangan dapat dicor di bagian atas pancang, membuka kepala tiang dengan mengikis beton dan dihubungkan secara mekanis atau dilas ke suatu perpanjangan tulangan.
18.13.4.3 Tiang fondasi, *pier*, atau *caisson* harus memiliki tulangan transversal sesuai dengan 18.7.5.2 a) hingga e), 18.7.5.3, dan 18.7.5.4 kecuali persyaratan c) dan f) Tabel 18.7.5.4 pada lokasi-lokasi a) dan b) berikut: a) Pada sisi atas komponen struktur untuk paling sedikit 5 kali dimensi penampang komponen tersebut, tetapi tidak kurang dari 1,8 m di bawah sisi bawah *poer*; b) Untuk bagian tiang fondasi di dalam tanah yang tidak mampu menyediakan tumpuan lateral, atau di dalam udara dan air, sepanjang keseluruhan bagian tiang tak tertumpu ditambah panjang yang disyaratkan dalam a).	**R18.13.4.3** Saat gempa terjadi, tiang pondasi dapat terkena lenturan yang sangat tinggi di titik-titik diskuntinu, terutama tepat di bawah *pile cap* dan dekat dasar deposit tanah lunak atau lapisan tanah lepasan. Ketentuan standar ini yang mensyaratkan pemakaian tulangan pengekangan di bagian atas pancang didasarkan atas banyaknya kegagalan yang teramati di lokasi ini akibat gempa-gempa yang terjadi baru-baru ini. Tulangan transversal diperlukan di daerah ini untuk memberikan kinerja yang daktail. Perencana harus pula mempertimbangkan kemungkinan aksi inelastik dalam tiang fondasi akibat perubahan jenis lapisan tanah, seperti perubahan dari tanah lunak ke keras atau tanah lepas ke padat. Bila tiang pancang pracetak digunakan, potensi perbedaan elevasi ujung tiang pancang yang dipancang dengan yang ditentukan dalam dokumen perencanaan perlu dipertimbangkan sewaktu pembuatan detail tiang pancang. Bila tiang pancang tidak bisa masuk sepenuhnya dan berenti pada posisi yang lebih dangkal, pancang perlu dipotong. Bila kemungkinan ini tidak diperhitungkan, panjang tulangan transversal yang disyaratkan pada ketentuan ini mungkin tidak tersedia setelah pemotongan pancang.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
18.13.4.4 Untuk tiang fondasi pancang beton pracetak, panjang pemasangan tulangan transversal yang disediakan harus cukup untuk memperhitungkan kemungkinan variasi dalam elevasi akhir pada ujung tiang fondasi terpasang.	
18.13.4.5 Tiang fondasi, *pier*, atau *caisson* beton pada fondasi yang menumpu konstruksi dinding penumpu dengan *stud* setinggi satu dan dua tingkat dikecualikan dari persyaratan tulangan transversal 18.13.4.3 dan 18.13.4.4.	
18.13.4.6 *Poer* dengan tiang fondasi miring (*batter*) harus didesain untuk menahan kekuatan tekan penuh tiang fondasi miring (*batter*) yang bekerja sebagai kolom pendek. Pengaruh kelangsingan tiang fondasi miring (*batter*) harus ditinjau untuk bagian tiang fondasi dalam tanah yang tidak mampu untuk menyediakan tumpuan lateral, atau di dalam udara atau air.	**R18.13.4.6** Kerusakan struktural yang parah sering teramati di pertemuan tiang fondasi miring (*batter piles*) dan bangunan. *Pile cap* dan struktur sekitarnya harus didesain untuk potensi gaya yang besar yang dapat terjadi pada tiang fondasi miring.
18.14 - Komponen struktur yang tidak ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik **18.14.1** *Lingkup*	**R18.14 - Komponen struktur yang tidak ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik** Bagian ini berlaku hanya untuk struktur yang dikenai KDS D, E, atau F. Untuk KDS tersebut, semua komponen struktur yang tidak didesain sebagai bagian dari sistem pemikul beban gempa disyaratkan untuk didesain menahan gaya gravitasi saat mengalami perpindahan desain. Untuk struktur beton, ketentuan pada bagian ini memenuhi persyaratan untuk kolom, balok, pelat, dan pilar dinding sistem gravitasi. Ketentuan 18.4.2 mendefinisikan kombinasi gaya dan perpindahan yang harus diperhatikan. Desain perpindahan didefinisikan pada Pasal 2. Model yang digunakan untuk menentukan desain perpindahan bangunan harus dipilih untuk menghasilkan hasil yang konservatif yang mengikat nilai yang diperkirakan selama gempa desain dan harus mencakup, sebagaimana mestinya, efek dari retak beton, fleksibilitas fondasi, dan depormasi diafragma lantai dan atap. Ketentuan 18.14 dimaksudkan untuk memungkinkan terjadinya leleh lentur daktil kolom, balok, pelat, dan pilar dinding akibat perpindahan desain, dengan menyediakan
18.14.1.1 Persyaratan 18.14 berlaku untuk komponen struktur rangka yang tidak didesain sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik pada struktur yang dikenakan KDS D, E, dan F.	
18.14.2 *Pelaksanaan Desain* **18.14.2.1** Komponen struktur rangka yang diasumsikan tidak didesain sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik harus dievaluasi terhadap kombinasi beban gravitasi $(1.2D + 1.0L)$ atau $0.9D$, yang mana yang kritis, yang bekerja secara simultan dengan perpindahan desain δ_u. Faktor beban pada beban hidup, L, diizinkan untuk direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk garasi, ruang yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua ruang dimana L lebih besar dari 4,8 kN/m^2.	

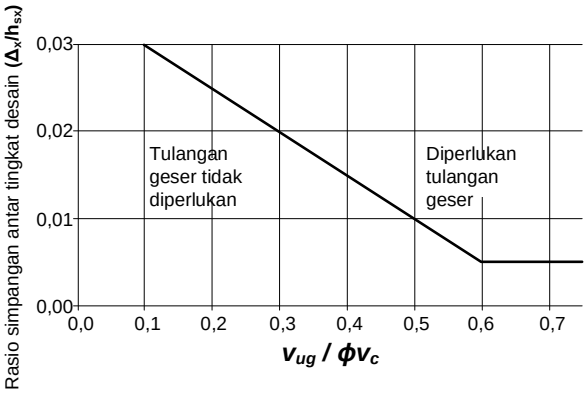
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kekangan dan gaya geser yang memadai pada elemen yang leleh tersebut.
18.14.3 *Balok, kolom dan joint cor ditempat*	**R18.14.3** *Balok, kolom, dan joint cor ditempat*
18.14.3.1 Balok, kolom dan joint cor ditempat harus diberi penulangan sesuai dengan 18.14.3.2 atau 18.14.3.3 tergantung besarnya momen dan geser yang timbul pada komponen struktur akibat perpindahan desain, δ_u. Jika efek perpindahan desain, δ_u tidak dicek secara eksplisit, persyaratan 18.14.3.3 harus dipenuhi	**R18.14.3.1** kolom dan balok cor ditempat diasumsikan mengalami kelelehan jika pengaruh kombinasi beban gravitasi terfaktor dan desain perpindahan melebihi kekuatan yang disyaratkan, atau jika pengaruh perpindahan desain tidak dihitung. Persyaratan tulangan transversal dan kekuatan geser bervariasi tergantung jenis komponen struktur dan bilamana komponen struktur tersebut leleh akibat perpindahan desain.
18.14.2.2 Jika momen dan geser yang timbul tidak melebihi kekuatan momen dan geser desain komponen struktur rangka, a) hingga c) harus dipenuhi: a) Balok harus memenuhi 18.6.3.1. Tulangan transversal harus diberikan sepanjang balok dengan spasi tidak melebihi $d/2$. Dimana gaya aksial terfaktor melebihi $A_g f_c'/10$, tulangan transversal harus menggunakan sengkang tertutup berdasarkan 18.7.5.2 dengan spasi s_o, sesuai dengan 18.14.3.2(b). b) Kolom harus memenuhi 18.7.4.1, 18.7.5.2, dan 18.7.6. Spasi longitudinal maksimum sengkang tertutup harus sebesar s_o disetinggi kolom. Spasi s_o tidak boleh melebihi nilai terkecil dari enam diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm. c) Kolom dengan gaya aksial gravitasi terfaktor yang melebihi $0{,}35P_o$ harus memenuhi 18.14.3.2(b) dan 18.7.5.7. Jumlah tulangan transversal yang disediakan harus sebesar setengah yang disyaratkan oleh 18.7.5.4, dan spasinya tidak boleh lebih besar dari s_o di setinggi kolom.	
18.14.3.3 Jika momen atau geser yang timbul melebihi ϕM_n atau ϕV_n komponen struktur rangka, atau jika momen dan geser yang timbul tidak dihitung, a) hingga d) harus dipenuhi:	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Material, sambungan mekanis, dan sambungan las harus memenuhi persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus 18.2.5 hingga 18.2.8. b) Balok harus memenuhi 18.14.3.2 (a) dan 18.6.5. c) Kolom harus memenuhi 18.7.4, 18.7.5, dan 18.7.6. d) Sambungan harus memenuhi 18.8.3.1.	
18.14.4 *Balok dan kolom pracetak*	**R18.14.4** *Balok dan kolom pracetak*
18.14.4.1 Komponen struktur rangka beton pracetak beserta sambungannya yang diasumsikan tidak menyumbang tahanan lateral, harus memenuhi a) hingga d): a) Persyaratan 18.14.3 b) Persyaratan ikat silang yang disyaratkan dalam 18.14.3.2(b) di setinggi kolom, termasuk tinggi balok; c) Tulangan integritas struktur, sesuai yang ditetapkan dalam 4.10 d) Panjang tumpuan pada dudukan suatu balok harus paling sedikit 50 mm lebih panjang dari yang ditentukan 16.2.6.	**R18.14.4.1** Kerusakan pada beberapa bangunan dengan sistem gravitasi beton pracetak saat Gempa Northridge 1994 dikaitkan dengan beberapa faktor yang dibahas di bagian ini. Kolom harus mengandung ikat silang (*ties*) pada keseluruhan tingginya, komponen rangka yang tidak diproposikan untuk memikul gaya gempa harus diikat bersama, dan panjang landasan yang lebih panjang harus digunakan untuk menjaga integritas sistem gravitasi selama getaran tanah (*ground motion*) terjadi. Penambahan 50 mm panjang landasan didasarkan pada asumsi 4 persen ratio simpangan antar tingkat (*story drift ratio*) dan 1,3 m tinggi balok, dan dianggap konservatif untuk gerakan tanah pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F. Selain itu, komponen rangka pracetak yang diasumsikan tidak berkontribusi pada tahanan lateral juga harus memenuhi persyaratan kontruksi cor ditempat yang dijelaskan pada 18.14.3, jika berlaku.
18.14.5 *Sambungan pelat-kolom*	**R18.14.5** *Sambungan pelat-kolom*
18.14.5.1 Untuk sambungan pelat-kolom pada pelat dua arah tanpa balok, tulangan geser pelat yang memenuhi persyaratan 8.7.6 atau 8.7.7 harus disediakan pada bagian kritis pelat sesuai yang ditentukan dalam 22.6.4.1 jika $\frac{\Delta_x}{h_{sx}} \geq 0,035 - \left(\frac{1}{20}\right)\left(\frac{v_{ug}}{\phi v_c}\right)$. Tulangan geser pelat harus memenuhi $v_s \geq 0,29\sqrt{f_c'}$ di bagian kritis pelat dan harus diperpanjang setidaknya empat kali tebal pelat dari muka tumpuan yang berdekatan dengan bagian kritis pelat. Persyaratan tulangan geser ini tidak	**R18.14.5.1** Persyaratan untuk tulangan geser pada sambungan pelat-kolom dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan geser pons (*punching shear*) pada pelat jika desain rasio simpangan antar tingkat (*story drift ratio*) melebihi nilai yang ditentukan. Tidak diperlukan perhitungan momen yang ditimbulkan, berdasarkan penelitian (Megally and Ghali 2002; Moehle 1996) yang mengidentifikasi kemungkinan kegagalan geser pons dengan mempertimbangkan rasio simpangan tingkat dan tegangan geser akibat beban gravitasi tanpa momen pada penampang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
berlaku jika $\Delta_x / h_{sx} \leq 0{,}005$. Nilai (Δ_x / h_{sx}) harus diambil yang terbesar dari nilai-nilai pada tingkat yang berdekatan di atas dan di bawah sambungan kolom pelat. v_c harus dihitung sesuai dengan 22.6.5. v_{ug} adalah tegangan geser terfaktor pada bagian kritis pelat untuk pelat dua arah akibat beban gravitasi tanpa transfer momen.	kritis pelat. Gambar R18.14.5.1 mengilustrasikan persyaratan. Persyaratan tersebut dapat dipenuhi dengan menambah tulangan geser pelat, menambah ketebalan pelat, mengubah desain untuk mengurangi desain rasio simpangan tingkat, atau kombinasinya. Jika kepala kolom, *drop panel*, kepala geser, atau perubahan lain pada ketebalan pelat digunakan, persyaratan 18.14.5 dievaluasi untuk semua potensi penampang kritis, sebagaimana disyaratkan pada 22.6.5.1.
	
	Gambar R18.14.5.1 – Ilustrasi kriteria 18.14.5.1
18.14.6 *Pilar dinding* (*wall piers*)	**R18.14.6** *Pilar dinding* (*wall piers*)
18.14.6.1 Pilar dinding yang tidak ditetapkan sebagai bagian sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi persyaratan 18.10.8. Bila SNI 1726 menyertakan ketentuan untuk memperhitungkan kekuatan lebih dari sistem pemikul gaya seismik, diizinkan untuk menentukan gaya geser desain sebesar Ω_o kali geser yang ditimbulkan akibat perpindahan desain, δ_u.	**R18.14.6.1** Bagian 18.10.8 mensyaratkan bahwa desain gaya geser ditentukan berdasarkan 18.7.6.1, yang pada beberapa kasus dapat menghasilkan gaya besar yang tidak realistis. Sebagai alternatif, desain gaya geser dapat ditentukan sebagai perkalian faktor kekuatan lebih dan geser yang timbul saat pilar dinding berpindah sebesar δ_u. Faktor kekuatan lebih Ω_0 pada SNI 1726, FEMA P749, ASCE/SEI 7, dan IBC 2012 dapat digunakan untuk tujuan ini.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 19 – BETON: PERSYARATAN DESAIN DAN DURABILITAS

19.1 - Ruang lingkup

19.1.1 Pasal ini dapat digunakan pada beton, termasuk untuk keperluan:

a) Properti untuk desain
b) Persyaratan durabilitas

19.1.2 Pasal ini harus digunakan sebagai persyaratan durabilitas untuk beton *grout* yang digunakan untuk tendon terlekat sesuai dengan persyaratan pada 19.4.

19.2 - Properti desain beton

19.2.1 *Persyaratan kekuatan tekan*

19.2.1.1 Nilai dari f_c' harus dispesifikasikan dalam dokumen konstruksi dan harus sesuai dengan persyaratan a) hingga c):

a) Batasan pada Tabel 19.2.1.1
b) Persyaratan durabilitas pada Tabel 19.3.2.1
c) Persyaratan kekuatan struktur

Tabel 19.2.1.1 – Batasan nilai f_c'

Kegunaan	Jenis beton	Nilai f_c' minimum (MPa)	Nilai f_c' maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35[1]

[1]Batasan diizinkan untuk dilewati bila bukti hasil eksperimental dari elemen struktur yang terbuat dari beton ringan menunjukkan kekuatan dan keteguhan (*toughness*) yang sama atau melebihi dari elemen yang dibuat dengan menggunakan beton normal dengan kekuatan yang sama.

19.2.1.2 Kekuatan beton yang disyaratkan harus digunakan untuk menentukan proporsi campuran beton sesuai 26.4.3 dan untuk pengujian dan penerimaan beton pada 26.12.3.

19.2.1.3 Bila tidak ditentukan lain maka f_c' harus diambil berdasarkan hasil pengujian

R19.2 - Properti desain beton

R19.2.1 *Persyaratan kekuatan tekan* – Persyaratan untuk campuran beton berdasarkan pada falsafah bahwa beton hendaknya memiliki kekuatan dan durabilitas yang memadai. Standar ini menjelaskan nilai minimum f_c' untuk struktur beton. Tidak ada batasan untuk nilai maksimum f_c' kecuali disyaratkan oleh ketentuan standar yang spesifik.

Campuran beton yang ditentukan sesuai dengan 26.4.3 harus memiliki kekuatan tekan rata-rata melebihi nilai f_c' yang digunakan pada perhitungan desain struktur. Nilai kekuatan rata-rata beton yang melebihi f_c' harus berdasarkan pada konsep statistik. Ketika beton didesain untuk mencapai kekuatan lebih besar dari f_c', hal tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa uji kekuatan beton akan memiliki probabilitas tinggi untuk memenuhi kriteria penerimaan kekuatan pada 26.12.3. Persyaratan durabilitas yang dijelaskan pada Tabel 19.3.2.1 harus dipenuhi sebagai tambahan persyaratan minimum f_c' pada 19.2.1. Dalam beberapa kondisi, persyaratan durabilitas mungkin mensyaratkan nilai f_c' yang lebih tinggi dari yang disyaratkan untuk tujuan struktural.

Untuk desain sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus yang digunakan untuk menahan gaya gempa, standar ini membatasi nilai maksimum f_c' untuk beton ringan menjadi 35 MPa. Batasan ini diberlakukan terutama karena kurangnya data eksperimental dan lapangan terkait perilaku komponen-komponen dengan material beton ringan yang mengalami

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
28 hari. Selain 28 hari, umur beton saat pengujian f_c' harus dituliskan pada dokumen konstruksi.	simpangan bolak-balik dalam rentang nonlinear. Standar ini juga membatasi f_c' untuk desain angkur pada beton. Persyaratan ada pada 17.2.7.
19.2.2 *Modulus elastisitas*	**R19.2.2** *Modulus elastisitas*
19.2.2.1 Modulus elastisitas beton, E_c, diizinkan untuk dihitung berdasarkan a) atau b):	**R19.2.2.1** Studi-studi terkait perumusan modulus elastisitas beton diringkas dalam Pauw (1960), yang mana E_c didefinisikan sebagai kemiringan garis yang digambar dari tegangan nol hingga tegangan tekan sebesar $0{,}45f_c'$. Modulus elastisitas untuk beton sensitif terhadap modulus elastisitas agregat dan proporsi campuran beton. Nilai modulus elastisitas terukur berkisar antara 80 hingga 120 persen dari nilai terhitung. ASTM C469M menyediakan metode uji untuk menentukan modulus elastisitas untuk beton yang mengalami tekan.
a) Untuk nilai w_c di antara 1400 dan 2560 kg/m^3 $E_c = w_c^{1,5}\,0{,}043\sqrt{f_c'}$ (MPa) (19.2.2.1.a) b) Untuk beton normal $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ (MPa) (19.2.2.1.b)	
19.2.3 *Modulus retak*	
19.2.3.1 Modulus retak beton f_r dapat dihitung dengan menggunakan: $f_r = 0{,}62\lambda\sqrt{f_c'}$ (19.2.3.1) Dimana nilai λ diambil sesuai dengan 19.2.4	
19.2.4 *Beton ringan*	**R19.2.4** *Beton ringan* – Faktor modifikasi λ digunakan untuk memperhitungkan rasio kekuatan tarik terhadap kekuatan tekan beton ringan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Untuk desain menggunakan beton ringan, kekuatan geser, properti friksi, tahanan belah, lekatan antara beton dengan tulangan, dan persyaratan sambungan lewatan dianggap tidak sama dengan beton normal untuk kekuatan tekan yang sama. Biasanya, perancang tidak mengetahui campuran agregat yang diperlukan untuk mencapai target kekuatan dan kepadatan desain yang disyaratkan pada sebuah proyek. Pada kebanyakan kasus, pemasok beton dan agregat lokal memiliki standar campuran beton ringan dan dapat menyediakan fraksi volumetrik agregat ringan dan normal yang diperlukan untuk mencapai nilai target. Fraksi volumetrik ini dapat digunakan untuk menentukan nilai λ, atau apabila tidak ada data tersebut,
19.2.4.1 Untuk mengakomodasi properti beton ringan, sebuah faktor modifikasi λ harus digunakan sebagai pengali dari $\sqrt{f_c'}$ $\sqrt{f_c'}$ untuk semua ketentuan pada standar ini.	
19.2.4.2 Nilai dari λ harus diambil berdasarkan komposisi aggregat pada campuran beton sesuai dengan Tabel 19.2.4.2 atau sesuai yang diizinkan pada 19.2.4.3.	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 19.2.4.2 – Faktor modifikasi λ

Beton	Komposisi Aggregat	λ
Beton ringan dengan semua agregat ringan	Halus: ASTM C330M Kasar: ASTM C330M	0,75
Beton Ringan, agregat halus campuran	Halus: Kombinasi ASTM C330M dan C33M Kasar: ASTM C330M	0,75 s/d 0,85[1]
Beton ringan dengan pasir ringan	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C330M	0,85
Beton ringan dengan pasir ringan, dan agregat kasar campuran	Halus: ASTM C33M Kasar: Kombinasi ASTM C330M dan C33M	0,85 s/d 1[2]
Beton normal	Halus: ASTM C33M Kasar: ASTM C33M	1

[1]Interpolasi linear dari 0,75 hingga 0,85 diizinkan berdasarkan perbandingan dari volume absolut agregat halus normal dan total volume absolut agregat halus.
[2]Interpolasi linerar dari 0,85 hingga 1 diizinkan berdasarkan perbandingan dari volume absolut agregat kasar normal dan total volume absolut agregat kasar.

19.2.4.3 Jika hasil pengukuran kekuatan tarik belah rata-rata beton ringan, f_{ct}, digunakan untuk menghitung λ, uji laboratorium harus dilakukan sesuai ASTM C330M untuk menentukan nilai f_{ct} dan nilai f_{cm} yang bersesuaian dan λ dapat dihitung menggunakan:

$$\lambda = \frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f_{cm}}} \leq 1,0 \qquad (19.2.4.3)$$

Campuran beton yang diuji untuk menghitung λ harus mencerminkan campuran yang digunakan di pada pekerjaan tersebut.

19.3 - Persyaratan durabilitas beton

PENJELASAN

diperbolehkan untuk menggunakan nilai λ yang lebih rendah untuk jenis beton ringan yang ditentukan.

Dua prosedur alternatif disediakan untuk menentukan λ. Alternatif pertama berdasar pada asumsi bahwa untuk tingkatan kekuatan tekan yang setara, kekuatan tarik pada beton ringan adalah fraksi tetap terhadap kekuatan tarik beton normal (Ivey dan Buth 1967). Pengali yang digunakan pada λ berdasarkan data dari serangkaian uji pada beton yang terbuat dari banyak jenis struktural agregat ringan.

Prosedur alternatif kedua untuk menentukan λ adalah berdasarkan uji laboratorium beton ringan dengan sumber agregat dan kekuatan tekan yang digunakan di lapangan. Uji laboratorium dilakukan sesuai dengan ASTM C330M meliputi pengujian kekuatan tarik belah rata-rata f_{ct} dan kekuatan tekan rata-rata f_{cm} dari beton ringan. Nilai λ ditentukan menggunakan Pers. (19.2.4.3), yang mana berdasar pada asumsi bahwa kekuatan kekuatan tarik belah rata-rata beton ringan setara dengan $0,56\sqrt{f_{cm}}$ (Ivey dan Buth 1967; Hanson 1961).

R19.3 - Persyaratan durabilitas beton

Durabilitas beton dipengaruhi oleh ketahanan beton terhadap penetrasi fluida. Ini terutama dipengaruhi oleh ***w/cm*** dan komposisi material sementisius yang digunakan pada beton. Untuk ***w/cm*** tertentu, penggunaan abu terbang (*fly ash*), semen slag, abu silika (*silica fume*), atau kombinasi material-material tersebut biasanya akan meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi fluida dan juga meningkatkan durabilitas beton. Peraturan ini memberikan penekanan pada ***w/cm***

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	untuk mencapai permeabilitas rendah sehingga dapat memenuhi persyaratan durabilitas. ASTM C1202 dapat digunakan untuk menentukan ketahanan beton terhadap penetrasi fluida. Karena sulit untuk memverifikasi secara pasti nilai ***w/cm*** beton, nilai terpilih dari f_c' hendaknya konsisten dengan nilai maksimum ***w/cm*** yang disyaratkan untuk durabilitas. Pemilihan f_c' yang konsisten dengan ***w/cm*** maksimum yang diizinkan dan disyaratkan untuk durabilitas akan membolehkan hasil uji kekuatan untuk digunakan sebagai pengganti ***w/cm***, dan kemudian membantu memastikan bahwa maksimum ***w/cm*** tidak melebihi ambang di lapangan. Sebagaimana dijelaskan pada catatan kaki pada Tabel 19.3.2.1, batasan ***w/cm*** maksimum tidak dispesifikkan untuk beton ringan karena jumlah campuran air yang diserap oleh agregat ringan membuat perhitungan ***w/cm*** tidak pasti. Maka dari itu, persyaratan untuk f_c' minimum digunakan untuk memastikan pasta semen berkualitas tinggi. Kategori paparan yang didefinisikan pada Tabel 19.3.1.1 terbagi menjadi kelas-kelas paparan tergantung pada keparahan paparan. Persyaratan beton yang berhubungan dengan kelas paparan disediakan pada 19.3.2. Standar ini tidak mencakup ketentuan-ketentuan untuk kasus khusus paparan berat, seperti asam maupun suhu tinggi.
19.3.1 *Kategori dan kelas paparan* **19.3.1.1** Perencana ahli bersertifikat harus menentukan kelas paparan berdasarkan pada tingkat keparahan paparan komponen struktur beton yang diantisipasi untuk setiap kategori paparan menurut Tabel 19.3.1.1.	**R19.3.1** *Kategori dan kelas paparan* Standar ini membahas tiga kategori paparan yang mempengaruhi persyaratan untuk beton untuk menjamin durabilitas yang memadai: **Paparan Kategori S** berlaku untuk beton yang berkontak langsung dengan tanah atau air yang mengandung sejumlah ion sulfat larut dalam air yang merusak. **Paparan Kategori W** berlaku untuk beton yang berkontak dengan air tapi tidak terpapar siklus beku-cair, klorida, atau sulfat. **Paparan Kategori C** berlaku untuk beton nonprategang dan prategang yang terpapar kondisi yang memerlukan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 19.3.1.1 – Kategori dan kelas paparan

Kategori	Kelas	Kondisi	
Sulfat (S)		Sulfat SO_4^{2-} larut dalam air di tanah, dalam persen masa[1]	Sulfat (SO_4^{2-}) larut dalam air, dalam ppm[2]
	S0	SO_4^{2-} < 0,10	SO_4^{2-} < 150
	S1	0,10 ≤ SO_4^{2-} < 0,20	150 ≤ SO_4^{2-} < 1500 atau air laut
	S2	0,20 ≤ SO_4^{2-} < 2,00	1500 ≤ SO_4^{2-} ≤ 10.000
	S3	SO_4^{2-} > 2,00	SO_4^{2-} > 10.000
Kontak dengan air (W)	W0	Beton kering kondisi layan, Beton kontak dengan air dan permeabilitas rendah tidak disyaratkan	
	W1	Beton kontak dengan air dan pemeabilitas rendah disyaratkan	
Proteksi korosi tulangan (C)	C0	Beton kering atau terlindung dari kelembaban	
	C1	Beton terpapar terhadap kelembaban tetapi tidak terhadap sumber klorida luar	
	C2	Beton terpapar terhadap kelembaban dan sumber klorida eksternal dari bahan kimia, garam, air asin, air payau, atau percikan dari sumber-sumber ini	

[1]Persen sulfat dalam masa dalam tanah harus ditentukan dengan ASTM C1580.

[2]Konsentrasi sulfat larut dalam air dalam ppm harus ditentukan dengan ASTM D516 atau ASTM D4130.

PENJELASAN

perlindungan tambahan dari korosi tulangan.

Keparahan paparan dalam setiap kategori didefinikasi oleh kelas dengan peningkatan nilai numerik yang merepresentasikan peningkatan kondisi keparahan paparan. Klasifikasi nol (0) digunakan jika keparahan paparan hampir tidak berdampak (tidak berbahaya) atau kategori paparan tidak berlaku pada komponen.

Kategori Paparan S dibagi menjadi empat tingkatan paparan:

a) Kelas paparan S0 diberikan pada kondisi dimana konsentrasi sulfat terlarut yang berkontak dengan beton tergolong rendah dan serangan sulfat yang dapat merusak tidak dipertimbangkan.
b) Kelas paparan S1, S2, dan S3 diberikan untuk komponen-komponen beton struktur yang berkontak langsung dengan sulfat terlarut dalam tanah atau air. Keparahan paparan meningkat dari kelas paparan S1 ke S3 berdasarkan konsentrasi sulfat terlarut terukur yang paling kritis di dalam tanah atau konsentrasi sulfat larut dalam air. Paparan air laut termasuk dalam kelas paparan S1.

Kategori Paparan W dibagi menjadi dua kelas paparan:

a) Komponen-komponen termasuk dalam kelas paparan W0 jika komponen-komponen tersebut kering pada kondisi layan atau terkontak dengan air, namun tidak ada persyaratan spesifik untuk permeabilitas rendah.
b) Komponen-komponen termasuk dalam kelas paparan W1 jika digunakan beton dengan tingkat permeabilitas air yang rendah dan penetrasi air ke dalam beton dapat mengurangi durabilitas komponen tersebut. Sebagai contoh adalah dinding fondasi di bawah muka air.

Kategori Paparan C dibagi menjadi tiga kelas paparan:

a) Kelas paparan C0 diberikan jika kondisi paparan tidak mensyaratkan perlindungan tambahan terhadap munculnya korosi tulangan.

Kelas paparan C1 dan C2 diberikan pada komponen beton nonprategang dan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	prategang, tergantung pada derajat paparan dari luar seperti kelembapan dan klorida saat kondisi layan. Contoh paparan dari luar berupa klorida termasuk beton yang mengalami kontak langsung dengan bahan kimia pencair, garam, air garam, air payau, air laut, atau percikan dari sumber-sumber tersebut.
19.3.2 *Persyaratan campuran beton*	**R19.3.2** *Persyaratan campuran beton* – Tabel 19.3.2.1 menyediakan persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan yang ditetapkan. Persyaratan yang paling ketat diterapkan. Sebagai contoh, komponen yang ditetapkan pada kelas paparan W1 dan Kelas paparan S2 akan membutuhkan beton untuk memenuhi w/cm maksimum sebesar 0,45 dan f_c' minimum sebesar 31 MPa karena persyaratan untuk kelas paparan S2 lebih ketat daripada persyaratan untuk kelas paparan W1.
19.3.2.1 Berdasarkan kelas paparan yang ditetapkan pada Tabel 19.3.1.1, campuran beton harus memenuhi persyaratan paling ketat dari yang ditentukan pada Tabel 19.3.2.1.	**Kelas paparan S1, S2, dan S3**: Tabel 19.3.2.1 menyebutkan jenis semen yang sesuai dan nilai maksimum w/cm dan nilai minumum f_c' untuk kondisi paparan sulfat yang beragam. Dalam memilih semen untuk menahan sulfat, pertimbangan utamanya adalah kandungan *tricalcium aluminate* (C_3A) di dalamnya. **Kelas paparan S1**: Semen Tipe II ASTM C150M terbatas pada semen dengan kandungan maksimum C_3A sebesar 8,0 persen dan dapat diterima untuk digunakan pada kelas paparan S1. Semen campuran pada ASTM C595M dengan penyebutan MS juga dapat digunakan. Sejak 2009, ASTM C595M telah memasukkan persyaratan untuk semen campuran biner (IP dan IS) dan terner (IT). Semen campuran biner (*binary)* dan terner (*ternary)* yang sesuai dengan aturan ASTM C595M adalah tipe IP, IS, dan IT yang mencakup akhiran (MS) sebagai bagian dari sebutan mereka, yang mana mengindikasikan semen memenuhi persyaratan untuk tahanan sulfat sedang. Dalam ASTM C1157M, penyebutan yang tepat untuk paparan sulfat sedang adalah Tipe MS. **Kelas paparan S2**: Semen Tipe V ASTM C150M terbatas pada semen dengan kandungan maksimum C_3A sebesar 5,0 persen dan diterima untuk digunakan pada

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kelas paparan S2. Semen campur biner dan terner yang sesuai dengan ASTM C595M adalah Tipe IP, IS, dan IT yang mencakup akhiran (HS) sebagai bagian dari penyebutannya, yang mana menunjukkan semen yang sesuai dengan persyaratan untuk tahanan sulfat tinggi. Dalam ASTM C1157M, penyebutan yang sesuai untuk paparan sulfat parah adalah Tipe HS. **Kelas paparan S3**: Peraturan ini memperbolehkan penggunaan semen portland Tipe V ASTM C150M ditambah pozzolan atau semen slag berdasarkan pada catatan kinerja layan yang berhasil, daripada memenuhi persyaratan uji pada 26.4.2.2(c). Alternatif ini juga tersedia untuk campuran semen biner dan terner ASTM C595M dengan akhiran (HS) pada penyebutannya dan untuk semen ASTM C1157M Tipe HS. Penggunaan abu terbang (*fly ash*) (ASTM C618, Kelas F), pozzolan alami (ASTM C618, Kelas N), abu silika (*silica fume)* (ASTM C1240), atau semen slag (ASTM C989M) juga telah terbukti dapat meningkatkan ketahanan sulfat pada beton (Li dan Roy 1986; ACI 233R; ACI 234R). Maka dari itu, catatan kaki pada Tabel 19.3.2.1 menyediakan pilihan kinerja untuk menentukan kombinasi yang sesuai pada material tersebut sebagai alternatif untuk menggunakan jenis semen tertentu yang terdaftar. ASTM C1012M diizinkan untuk digunakan untuk mengevaluasi ketahanan sulfat pada campuran menggunakan kombinasi material sementisius sesuai dengan 26.4.2.2(c). Beberapa semen campuran sesuai dengan ASTM C595M dan ASTM C1157M dapat memenuhi persyaratan tes 19.3.4 tanpa tambahan pozzolan atau semen slag pada semen campuran seperti yang diproduksi. Pada tahun 2012, ASTM C595M memperkenalkan persyaratan untuk semen Tipe IL yang mengandung batu kapur sebesar 5 hingga 15 persen dan semen IT yang mengandung hingga 15 persen batu kapur. Persyaratan ASTM C595M saat ini tidak mengizinkan semen Tipe IT dengan tahanan sulfat sedang (MS) atau tinggi (HS) dengan kandungan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	batu kapur lebih dari 5 persen atau semen Tipe IL. Perlu dicatat bahwa semen tahan sulfat tidak akan meningkatkan ketahanan beton terhadap beberapa campuran kimiawi yang agresif–sebagai contoh, asam belerang. Dokumen konstruksi hendaknya secara jelas menjelaskan kasus-kasus tersebut. Air laut termasuk dalam kelas paparan S1 (paparan sedang) pada Tabel 19.3.1.1, meskipun mengandung lebih dari 1500 ppm SO_4^{2-}. Semen *portland* dengan kandungan C_3A tinggi meningkatkan ikatan klorida yang terkandung pada air laut dan standar ini mengizinkan jenis semen portland yang lain dengan C_3A hingga 10 persen jika w/c_m maksimum dibatasi hingga 0,40 (lihat catatan kaki Tabel 19.3.2.1). Sebagai tambahan pemilihan material sementisius yang tepat, persyaratan lain untuk beton tahan lama yang terpapar sulfat terlarut dalam air adalah penting, seperti w/cm rendah, kekuatan, pemadatan yang memadai, keseragaman, selimut beton yang memadai, dan perawatan kelembapan beton yang cukup untuk membuat properti potensial beton. **Kelas paparan W1**: Kelas paparan ini mensyaratkan permeabilitas rendah ketika terdapat kontak langsung dengan air, dan cara utama untuk memperoleh beton dengan permeabilitas rendah adalah dengan menggunakan nilai w/cm rendah. Untuk w/cm tertentu, permeabilitas dapat dikurangi dengan optimasi material sementisius yang digunakan pada campuran beton. **Kelas paparan C2**: Untuk beton nonprategang dan prategang dalam kelas paparan C2, nilai maksimum w/cm, kekuatan tekan minimum yang disyaratkan, dan selimut minimum adalah persyaratan dasar untuk dipertimbangkan. Kondisi-kondisi hendaknya dievaluasi untuk struktur terpapar klorida, seperti pada struktur tempat parkir yang mana klorida dapat berasal dari kendaraan, atau pada struktur dekat laut. Tulangan terlapis, tulangan baja tahan karat, dan selimut yang lebih besar dari persyaratan minimum 20.6 dapat menyediakan

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	perlindungan tambahan pada kondisi tersebut. Penggunaan semen slag yang memenuhi ASTM C989M atau *fly ash* yang memenuhi ASTM C618 dan peningkatan kekuatan tekan dapat meningkatkan perlindungan. Penggunaan silika *fume* yang memenuhi ASTM C1240 dengan *high-range water reducer* yang sesuai, ASTM C494M, Tipe F dan G, atau ASTM C1017M juga dapat menyediakan perlindungan tambahan (Ozyildirim dan Halstead 1988). Penggunaan ASTM C1202 untuk menguji campuran beton yang digunakan akan menyediakan informasi tambahan terkait kinerja campuran. **Batas klorida untuk Kategori paparan C**: Untuk kelas paparan C0, C1, dan C2, berlaku batas ion klorida. Untuk beton nonprategang, nilai maksimum yang diizinkan untuk ion klorida terlarut air dalam beton, diukur oleh ASTM C1218M pada usia antara 28 hingga 42 hari, tergantung pada derajat paparan luar seperti kelembapan dan klorida. Untuk beton prategang, batas yang sama sebesar 0,06 persen ion klorida dari massa semen berlaku tanpa memandang paparan. Informasi tambahan terkait efek klorida pada korosi tulangan baja diberikan di ACI 201.2R, yang menyediakan petunjuk untuk durabilitas beton, dan ACI 222R, yang memberikan petunjuk pada faktor yang mempengaruhi korosi metal pada beton. Sebuah evaluasi awal mengenai kandungan ion klorida pada campuran beton yang diajukan dapat diperoleh dari menguji material penyusun beton secara terpisah untuk menentukan total kandungan ion klorida. Jika kandungan total ion klorida, dihitung berbasis proporsi beton, melebihi batas yang diizinkan pada Tabel 19.3.2.1, maka perlu dilakukan uji kandungan ion klorida terlarut untuk sampel beton keras. Beberapa ion klorida yang ada pada material penyusun beton dapat berupa klorida tidak larut dalam air atau berupa klorida yang akan bereaksi dengan semen selama hidrasi dan menjadi tidak larut sesuai prosedur pengujian yang dijelaskan di ASTM C1218M. Ketika beton diuji untuk kandungan ion klorida terlarut, pengujian hendaknya

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR | **PENJELASAN**

dilakukan pada umur beton 28 hingga 42 hari. Batasan dalam Tabel 19.3.2.1 dapat diterapkan untuk klorida yang berasal dari material penyusun beton, bukan yang berasal dari lingkungan sekitar beton. Untuk beton nonprategang yang akan kering pada saat kondisi layan (Kelas paparan C0), batas 1,00 persen dapat digunakan untuk mengontrol besarnya klorida terlarut yang berasal dari material penyusun beton.

Tabel 19.3.2.1 – Persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan

Kelas paparan	*w/cm* maks. [1]	f_c' min., MPa	Material sementisius [2] — Tipe			Material campuran tambahan kalsium klorida
			Semen Portland[7]	Semen Hidrolik Campuran[7]	Semen Hidrolik[7]	
S0	T/A	17	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan tipe	Tanpa batasan
S1	0,50	28	II [3][4]	Tipe IP(MS), IS(MS) atau IT(MS)	MS	Tanpa batasan
S2	0,45	31	V[4]	IP(HS), IS(HS) atau IT(HS)	HS	Tidak diizinkan
S3	0,45	31	V + pozzolan atau slag[4]	IP(HS), IS(HS) atau IT(HS) dan plus pozzolan atau slag[4]	HS + pozzolan atau slag[4]	Tidak diizinkan
W0	T/A	17	Tidak ada			
W1	0,50	28	Tidak ada			
			Kandungan ion klorida terlarut maksimum (Cl^-) pada beton dalam persen berat semen [6]		Persyaratan lainnya	
			Beton nonprategang	Beton prategang		
C0	T/A	17	1,00	0,06	Tidak Ada	
C1	T/A	17	0,30	0,06		
C2	0,40	35	0,15	0,06	Selimut beton[6]	

[1] Batasan maksimum ***w/cm*** pada Tabel 19.3.2.1 tidak berlaku untuk beton ringan.
[2] Untuk paparan air laut, tipe semen Portland lainnya dengan kadar trikalsium aluminat (C_3A) sampai dengan 10 persen diizinkan jika ***w/cm*** tidak melebihi 0,40.
[3] Tipe semen tersedia lainnya seperti Tipe III atau Tipe I diizinkan dalam Kelas Paparan S1 atau S2 jika kadar C_3A masing-masing kurang dari 8 persen untuk kelas paparan S1 atau kurang dari 5 persen untuk kelas paparan.
[4] Jumlah sumber spesifik dari pozzolan atau slag yang digunakan tidak boleh kurang dari jumlah yang telah ditentukan oleh catatan layan untuk meningkatkan ketahanan sulfat bila digunakan dalam beton yang mengandung semen Tipe V. Sebagai alternatif, jumlah sumber spesifik pozzolan atau slag yang digunakan tidak boleh kurang dari jumlah yang diuji sesuai dengan ASTM C 1012M dan memenuhi kriteria dalam 4.5.1.
[5]Kadar ion klorida terlarut yang berasal dari material dasar termasuk air, agregat, material sementisius, dan material campuran tambahan harus ditentukan pada campuran beton sesuai dengan ASTM C 1218M saat umur beton antara 28 dan 42 hari.
[6] Selimut beton harus sesuai dengan persyaratan pada 20.6.
[7] SMerujuk ke Tabel 26.4.1.1.1(a).

19.3.3 *Pasal ini tidak relevan untuk Indonesia*

R19.3.3 *Pasal ini tidak relevan untuk Indonesia*

19.3.4 *Kombinasi material sementisius alternatif untuk paparan sulfat*

R19.3.4 *Kombinasi material sementisius alternatif untuk paparan sulfat*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

19.3.4.1 Kombinasi alternatif untuk material sementitius seperti yang perlihatkan pada 19.3.2 diizinkan bila diuji terlebih dahulu ketahanan sulfatnya. Metode pengujian dan kriteria penerimaan harus sesuai dengan Tabel 26.4.2.2(c).

19.4 - Persyaratan durabilitas untuk material grouting

19.4.1 Kandungan klorida terlarut untuk tendon terlekat harus tidak melebihi 0,06 persen bila diuji sesuai dengan ASTM C1218M, dengan pengukuran massa ion klorida per massa semen.

PENJELASAN

R19.3.4.1 Ketentuan ini dapat diterapkan selama proses proporsi campuran beton. Ketentuan ini telah diduplikasi di 26.4.2.2(c). Informasi penjelasan tambahan dijelaskan di Pasal 26.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 20 – PROPERTI BAJA TULANGAN, DURABILITAS, DAN PENANAMAN

20.1 - Ruang lingkup

20.1.1 Pasal ini dapat digunakan untuk baja tulangan dan harus memenuhi persyaratan dari a) hingga c):

a) Properti material
b) Properti yang digunakan untuk desain
c) Persyaratan durabilitas, termasuk persyaratan penentuan selimut minimum

20.1.2 Aturan pada 20.7 dapat digunakan untuk penanaman.

R20.1 - Ruang lingkup

R20.1.1 Material yang diizinkan untuk digunakan sebagai baja tulangan telah ditetapkan. Elemen logam lain, seperti pelat ring (*inserts)*, baut angkur, atau baja polos untuk dowel pada isolasi atau *joint* konstruksi, umumnya tidak diperhitungkan sebagai baja tulangan menurut ketentuan pada standar ini. Perkuatan menggunakan *fiber-reinforced polymer* (FRP) tidak dibahas pada peraturan ini. Komite ACI 440 telah mengembangkan pedoman untuk penggunaan perkuatan FRP (ACI 440.1R dan 440.2R).

20.2 - Batang dan kawat nonprategang

20.2.1 *Properti material*

20.2.1.1 Tulangan dan kawat nonprategang harus berulir, kecuali untuk batang atau kawat polos diperbolehkan digunakan sebagai tulangan spiral.

20.2.1.2 Kekuatan leleh tulangan dan kawat nonprategang harus ditentukan dengan mengikuti a) atau b):

a) Metode *offset*, dengan menggunakan *offset* sebesar 0,2 persen sesuai ASTM A370
b) Titik leleh dengan menggunakan metode penghentian gaya (*halt of force*), dengan catatan tulangan atau kawat nonprategang memiliki titik leleh yang jelas.

R20.2 - Batang dan kawat nonprategang

R20.2.1 *Properti material*

R20.2.1.2 Sebagian besar dari tulangan baja nonprategang menunjukkan perilaku tegangan-regangan yang titik leleh nya terlihat jelas. Namun, bahan tulangan seperti batang baja mutu tinggi, kawat baja, batang baja gulungan, dan batang serta kawat baja tahan karat umumnya tidak menunjukkan perilaku pelelehan yang jelas, tetapi justru melengkung secara perlahan. Metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan leleh dari baja tulangan perlu disediakan untuk kedua jenis hubungan tegangan dan regangan dari baja tulangan.

Sebuah studi (Paulson et al., 2013) terkait pembuatan tulangan selama periode 2008 hingga 2012 menemukan bahwa metode *offset*, menggunakan *offset* 0,2 persen, mampu menunjukkan perkiraan kekuatan struktur beton bertulang yang masuk akal.

Kekuatan leleh ditentukan oleh pabrikan ketika uji tarik dilakukan pada contoh tulangan. Metode pengujian untuk

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	penentuan kekuatan leleh baja, termasuk metode *offset* dan penentuan titik leleh menggunakan metode penghentian gaya (*halt of force*), telah dijelaskan dengan baik pada standar ASTM untuk batang dan kawat baja nonprategang maupun di ASTM A370 terkait Metode Pengujian dan Definisi.
20.2.1.3 Tulangan ulir harus sesuai poin a), b), c), d), atau e): a) ASTM A615 M – Baja karbon b) ASTM A706 M – Baja *alloy* rendah c) ASTM A996 M – Baja as dan baja rel; tulangan dari baja rel harus bertipe R d) ASTM A966 M – Baja nirkarat (*stainless*) e) ASTM A 1035 M – Baja karbon kromium rendah	**R20.2.1.3** Tulangan ulir yang terbuat dari baja *alloy* rendah menurut ASTM A706M dimaksudkan untuk aplikasi di mana diperlukan kemampuan tarik yang terkontrol, pembatasan komposisi kimia untuk meningkatkan kemampuan las, ataupun keduanya. Batang baja rel ulir yang digunakan pada peraturan ini harus sesuai ASTM A996M, termasuk ketentuan untuk batang tipe R. Batang tipe R perlu memenuhi lebih banyak syarat batas uji lentur dibandingkan tipe baja rel yang lain. Batang baja nirkarat *(stainless)* digunakan ketika ketahanan korosi yang tinggi atau permeabilitas magnetis terkontrol dibutuhkan. Baja karbon kromium rendah adalah material mutu tinggi yang boleh digunakan sebagai tulangan transversal untuk pengekangan pada sistem struktur khusus tahan gempa dan tulangan spiral pada kolom. Lihat Tabel 20.2.2.4a dan b. ASTM A1035M menyediakan persyaratan untuk batang dengan dua kekuatan leleh minimum – 700 MPa dan 830 MPa – yang secara berurutan dikenal sebagai baja Mutu 690 dan Mutu 830, tetapi nilai maksimum f_{yt} yang diizinkan untuk perhitungan desain pada standar ini dibatasi menurut 20.2.2.3.
20.2.1.4 Tulangan polos untuk tulangan spiral harus sesuai ASTM A651M, A706M, A955M atau A1035 M.	**R20.2.1.4** Batang polos hanya diperbolehkan untuk digunakan sebagai tulangan spiral untuk tulangan transversal pada kolom, tulangan transversal untuk menahan geser dan torsi, atau tulangan pengekang untuk sambungan lewatan.
20.2.1.5 Tulangan kawat las ulir harus sesuai ASTM A184M. Tulangan ulir digunakan untuk tulangan las harus sesuai ASTM A615 M atau A706 M.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
20.2.1.6 Tulangan ulir berkepala harus sesuai ASTM A970M, termasuk persyaratan pada Lampiran A1 untuk dimensi kepala kelas HA.	**R20.2.1.6** Batasan dimensi kepala kelas HA yang tercantum pada Lampiran A1 dari ASTM A970M terjadi karena kurangnya data hasil uji tulangan ulir berkepala, yang tidak memenuhi persyaratan dimensi kelas HA. Kepala tulangan ulir yang tidak sesuai dengan batasan kelas HA terkait halangan deformasi batang dan bentuk muka landasan dapat menyebabkan terjadinya gaya belah yang tidak diinginkan di dalam beton yang bukan merupakan karakteristik kepala tulangan yang digunakan pada pengujian untuk dasar penulisan 25.4.4. Untuk kepala yang memenuhi persyaratan dimensi kelas HA, luas bersih penahan kepala dapat diasumsikan sama dengan luas kotor kepala dikurangi luas tulangan. Asumsi ini belum tentu sesuai untuk diterapkan pada kepala yang tidak memenuhi persyaratan dimensi kelas HA.
20.2.1.7 Kawat ulir, kawat polos, tulangan kawat las ulir, dan tulangan kawat las polos harus sesuai a) atau b), kecuali kekuatan leleh harus ditentukan sesuai 20.2.1.2: a) A1064M-Baja karbon b) A1022M-Baja nirkarat *(stainless)*	**R20.2.1.7** Kawat polos hanya diizinkan untuk tulangan spiral dan tulangan kawat baja polos yang dilas, tulangan yang disebut terakhir dianggap sebagai kawat ulir. Kawat baja nirkarat *(stainless)* dan tulangan kawat baja nirkarat (stainless) yang diljas diaplikasikan ketika ketahanan korosi yang tinggi dan permeabilitas magnetis tertentu diperlukan. Persyaratan kemampuan fisik dan mekanis untuk tulangan kawat baja ulir nirkarat (*stainless*) serta tulangan kawat baja ulir dan polos yang dilas menurut ASTM A1022M sama seperti persyaratan untuk kawat ulir, tulangan kawat ulir yang dilas, dan tulangan kawat polos yang dilas menurut ASTM A1064M.
20.2.1.7.1 Diizinkan menggunakan kawat ulir dengan ukuran D5 hingga D13.	**R20.2.1.7.1** Batas atas ditetapkan untuk ukuran kawat ulir karena pengujian (Rutledge and Devries 2002) menunjukkan bahwa kawat D16 hanya akan mencapai sekitar 60 persen dari kekuatan lekatan (bond) dalam tarik yang diberikan oleh Pers. (25.4.2.3a).
20.2.1.7.2 Kawat ulir dengan ukuran lebih besar dari D13 harus diizinkan sebagai tulangan kawat las jika pada saat perhitungan panjang penyaluran dan lewatan dianggap sebagai kawat polos sesuai 25.4.7 dan 25.5.4.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
20.2.1.7.3 Kecuali sesuai yang diizinkan untuk tulangan kawat las yang digunakan sebagai sengkang sesuai 25.7.1, spasi pertemuan sambungan las pada tulangan kawat pada arah tegangan yang dihitung harus tidak boleh melebihi a) atau b): a) 400 mm untuk tulangan kawat las ulir b) 300 mm untuk tulangan kawat las polos	
20.2.2 *Properti desain*	**R20.2.2** *Properti desain*
20.2.2.1 Untuk batang dan kawat nonprategang, tegangan di bawah f_y adalah E_s dikalikan dengan regangan baja. Untuk regangan lebih besar dari regangan yang menyebabkan f_y maka tegangan harus dianggap tidak terpengaruh dengan regangan dan sama dengan f_y.	**R20.2.2.1** Untuk tulangan ulir, cukup akurat mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan sebanding dengan regangan di bawah kekuatan leleh yang ditentukan f_y. Peningkatan kekuatan akibat efek *strain hardening* pada tulangan harus diabaikan untuk perhitungan kekuatan nominal. Pada perhitungan kekuatan nominal, gaya yang terjadi pada tulangan tarik maupun tekan dihitung sebagai berikut : Jika $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ (regangan leleh) $$A_s f_s = A_s E_s \varepsilon_s$$ Jika $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ $$A_s f_s = A_s f_y$$ Dengan ε_s adalah nilai dari diagram regangan pada lokasi tulangan.
20.2.2.2 Modulus elastisitas, E_s, untuk batang dan kawat nonprategang diizinkan untuk diambil sebesar 200.000 Mpa.	
20.2.2.3 Kekuatan leleh untuk batang dan kawat nonprategang harus berdasarkan mutu tulangan yang ditentukan dan tidak boleh melebihi nilai yang ditetapkan pada 20.2.2.4 untuk penggunaan yang sesuai.	
20.2.2.4 Tipe dari kawat dan batang nonprategang yang akan digunakan untuk struktur tertentu harus sesuai Tabel 20.2.2.4a untuk tulangan ulir dan Tabel 20.2.2.4b untuk tulangan polos.	**R20.2.2.4** Tabel 20.2.2.4a dan b membatasi nilai maksimum dari kekuatan leleh yang digunakan pada perhitungan desain untuk masing-masing tulangan ulir nonprategang dan tulangan spiral polos nonprategang. Pada Tabel 20.2.2.4a, untuk tulangan ulir pada sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	penggunaan tulangan longitudinal dengan mutu lebih tinggi dibanding yang diasumsikan pada desain mengakibatkan terjadinya geser yang lebih tinggi dan tegangan lekatan (*bond stress)* pada saat peningkatan momen leleh. Kondisi ini dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan getas pada geser maupun lekatan dan harus dihindari meskipun kegagalan semacam ini dapat terjadi akibat adanya beban yang lebih besar dibanding yang diantisipasi pada rancangan. Karena itu, batasan diberikan untuk kekuatan leleh aktual baja (mengacu pada 20.2.2.5). ASTM A706M untuk batang *alloy* rendah sekarang telah mengikutsertakan Mutu 420 dan Mutu 550; tetapi, hanya Mutu 420 yang diperbolehkan untuk sistem seismik khusus karena kurangnya data untuk mengkonfirmasi penerapan ketentuan standar saat ini pada struktur yang menggunakan mutu lebih tinggi. Untuk balok, ketentuan defleksi 24.2 dan batas distribusi tulangan lentur 24.3 menjadi semakin kritis seiring peningkatan f_y. Nilai maksimum kekuatan leleh untuk tujuan perhitungan dibatasi sebesar 700 MPa untuk masing-masing tulangan ulir nonprategang maupun tulangan spiral polos di Tabel 20.2.2.4a dan b, ketika digunakan untuk penyokong lateral tulangan longitudinal ataupun untuk pengekangan beton. Penelitian yang mendukung pembatasan untuk sengkang ini diantaranya adalah Saatciouglu and Razvi (2002), Pessiki et al. (2001), dan Richart et al. (1929). Untuk tulangan pada rangka momen khusus dan dinding struktural khusus, penelitian mengindikasikan bahwa kekuatan leleh yang lebih tinggi dapat digunakan secara efektif untuk tulangan sengkang, hal ini ditunjukkan oleh Budek et al. (2002), Muguruma and Watanabe (1990) dan Sugano et al. (1990). Batas 420 MPa pada nilai f_y dan f_{yt} yang digunakan pada desain sebagian besar tulangan geser dan torsi dimaksudkan untuk mengontrol lebar dari retak miring. Kekuatan leleh yang lebih tinggi yaitu 550 MPa diperbolehkan untuk desain geser pada tulangan kawat ulir yang dilas juga dimaksudkan untuk mengontrol lebar retak

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	miring, hal ini berdasarkan penelitian Guimares et al. (1992), Griezic et al. (1994), dan Furlong et al. (1991). Secara khusus, pengujian balok ukuran penuh yang dijelaskan oleh Griezic et al. (1994) menunjukkan bahwa lebar retak miring akibat geser pada saat beban layan akan lebih kecil pada balok bertulangan kawat ulir yang dilas dan dirancang dengan kekuatan leleh 520 MPa dibandingkan balok bertulang dengan sengkang ulir Mutu 420. Catatan kaki 2 pada Tabel 20.2.2.4a diberikan karena ASTM A1064M dan A1022M hanya mengharuskan kekuatan las untuk mencapai 240 MPa dalam kawat yang saling berhubungan. Sengkang tertutup, sengkang, dan elemen lain yang digunakan pada sistem seismik khusus harus memiliki angkur yang mampu mencapai **1,25f_y** atau **1,25f_{yt}**, sebagaimana berlaku, ataupun kekuatan tarik batang atau kawat, mana yang lebih rendah, sehingga kapasitas daktilitas sedang dapat tercapai. Produk hasil las yang mampu mencapai batas tegangan ini dapat diterima untuk digunakan menurut 1.10.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

Tabel 20.2.2.4a – Tulangan ulir nonprategang

Penggunaan	Aplikasi	f_y atau f_{yt} maks. yang diizinkan untuk perhitungan desain, (MPa)	Spesifikasi ASTM yang sesuai			
			Batang ulir	Kawat ulir	Kawat yang dilas	Batang ulir yang dilas
Lentur; gaya aksial; dan susut dan suhu	Sistem seismik khusus	420	Mengacu pada 20.2.2.5	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	A184M[1]
Kekangan lateral dari batang longitudinal atau kekangan beton	Sistem seismik khusus	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	A1064M[2] , A1022M[2]	Tidak diizinkan
	Spiral	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	Lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
Geser	Sistem seismik khusus	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M[2] , A1022M[2]	Tidak diizinkan
	Spiral	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	geser friksi	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
	sengkang, sengkang ikat, sengkang pengekang	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M Kawat las polos	Tidak diizinkan
		550	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan	A1064M, A1022M Kawat las ulir	Tidak diizinkan
Torsi	Longitudinal dan transversal	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan

[1]Tulangan kawat las ulir harus diizinkan untuk dirangkai menggunakan ASTM A615M atau A706M.
[2]ASTM A1064M dan A1022M tidak diizinkan pada sistem seismik khusus dimana las disyaratkan untuk menahan tegangan sebagai respons dari pengekangan, tumpuan lateral dari batang longitudinal, geser atau aksi lainnya.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

Tabel 20.2.2.4b – Tulangan spiral polos nonprategang

Penggunaan	Aplikasi	f_y atau f_{yt} maks. yang diizinkan untuk perhitungan desain, (MPa)	Spesifikasi ASTM yang sesuai	
			Batang polos	Kawat polos
Kekangan lateral dari batang longitudinal; atau kekangan beton	Spiral pada sistem gempa khusus	700	A615M, A706M, A955M, A1035M	A1064M, A1022M
	Spiral	700	A615M, A706M, A955M, A1035M	A1064M, A1022M
Geser	Spiral	420	A615M, A706M, A955M, A1035M	A1064M, A1022M
Torsi pada balok nonprategang	Spiral	420	A615M, A706M, A955M, A1035M	A1064M, A1022M

20.2.2.5 Tulangan longitudinal ulir nonprategang yang menahan momen akibat beban gempa, gaya aksial atau keduanya pada rangka momen khusus, dinding struktural khusus dan semua komponen dari dinding struktural khusus termasuk balok kopel dan pilar dinding harus sesuai a) atau b):

a) ASTM A706M, Mutu 420

b) ASTM A615M, Tulangan Mutu 280 bila 1) dan 3) dipenuhi dan ASTM A615M tulangan Mutu 420 bila 1) hingga 3) terpenuhi.

1) Kekuatan leleh aktual berdasarkan tes pabrik tidak melebihi nilai f_y lebih dari 125 MPa

2) Rasio dari kekuatan tarik aktual terhadap kekuatan leleh setidak-tidaknya sebesar 1,25

3) Perpanjangan minimum pada 200 mm harus bernilai sekurang-kurangnya 14 persen untuk batang dengan tulangan D10 sampai dengan D19, sekurang-kurangnya 12 persen untuk tulangan dengan ukuran D22 hingga D36 dan sekurang-kurangnya 10 persen untuk tulangan dengan ukuran D43 dan D57.

R20.2.2.5 Persyaratan untuk kekuatan tarik harus lebih besar dari kekuatan leleh tulangan dengan faktor pengali 1,25 berdasarkan asumsi bahwa kemampuan elemen struktur untuk mengembangkan kapasitas rotasi inelastis adalah fungsi dari panjang daerah leleh sepanjang sumbu elemen tersebut. Dalam menginterpretasikan hasil percobaan, panjang daerah leleh dikaitkan dengan besaran relatif dari *probable moments* dan momen leleh (ACI 352R). Menurut pengertian ini, semakin tinggi nilai perbandingan antara *probable moments* dan momen leleh, maka semakin panjang daerah leleh. Komponen-komponen struktur yang tulangannya tidak memenuhi persyaratan ini masih dapat menghasilkan rotasi inelastis, tetapi perilakunya cukup berbeda untuk tidak memasukkan komponen tersebut menjadi bahan pertimbangan untuk dasar aturan yang didapatkan dari penelitian menggunakan beton dengan tulangan dalam kondisi telah *strain hardening*.

Untuk tulangan ulir ASTM A615M Mutu 420, syarat perpanjangan minimum telah ditambahkan ke ACI 318 2014. Syarat nilai perpanjangan minimum pada 20.2.2.5 sama dengan nilai yang tertera pada ASTM A706M untuk tulangan ulir Mutu 420.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Spesifikasi BjTS 420B dalam SNI 2052:2017 memenuhi ketiga persyaratan pada 20.2.2.5 b).
20.3 - *Strand*, kawat dan batang prategang	**R20.3 - *Strand*, kawat dan batang prategang**
20.3.1 *Properti material*	**R20.3.1** *Properti material*
20.3.1.1 Kecuali disyaratkan pada 20.3.1.3 untuk rangka momen khusus dan dinding struktural khusus, tulangan prategang harus sesuai a), b), c), atau d): a) ASTM A416M – *strand* b) ASTM A421M – kawat c) ASTM A421M – kawat relaksasi rendah termasuk persyaratan tambahan S1, “kawat relaksasi rendah dan uji relaksasi” d) ASTM A722M – Tulangan mutu tinggi	**R20.3.1.1** Karena tulangan prategang relaksasi rendah telah disebutkan dalam persyaratan tambahan ASTM A412M, yang hanya dipergunakan jika material relaksasi rendah dipersyaratkan, acuan ASTM yang sesuai dipisahkan ke dalam bagian tersendiri.
20.3.1.2 *Strand*, kawat dan batang prategang yang tidak terdaftar pada ASTM A416M, A421M, atau A722M diizinkan selama sesuai dengan persyaratan minimum dari standar ini dan ditunjukkan oleh hasil tes atau analisis bahwa penggunaannya tidak merusak performa dari komponen.	
20.3.1.3 Tulangan prategang yang menahan momen akibat beban gempa, gaya aksial atau keduanya pada rangka momen khusus, dinding struktural khusus dan semua komponen dari diding struktural khusus termasuk balok perangkai dan kolom dinding, pengecoran dengan menggunakan metode pracetak harus sesuai ASTM A416M atau A722M.	
20.3.2 *Properti desain*	**R20.3.2** *Properti desain*
20.3.2.1 Modulus elastisitas, E_p, untuk tulangan prategang harus ditentukan berdasarkan tes atau sesuai dengan yang diberikan oleh produsen.	**R20.3.2.1** Nilai *tetap* E_p antara 197000 dan 200000 MPa biasa digunakan untuk tujuan desain. Nilai yang lebih akurat berdasarkan hasil uji atau laporan pabrik mungkin diperlukan untuk memeriksa perpanjangan selama penarikan.
20.3.2.2 Kekuatan tarik, f_{pu}, harus berdasarkan Mutu yang ditentukan atau tipe dari tulangan prategang dan tidak boleh melebihi nilai pada Tabel 20.3.2.2.	**20.3.2.2** ASTM A416M menetapkan dua jenis mutu untuk kekuatan tarik *strand* yaitu 1725 dan 1860 MPa. ASTM A421M menetapkan kekuatan tarik yaitu sebesar 1620, 1655, dan 1725

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

Tabel 20.3.2.2 – *Strand*, kawat, dan batang tulangan prategang

Tipe	Nilai f_{pu} maksimum yang diizinkan untuk perhitungan desain,MPa	Spesifikasi ASTM yang sesuai
Strand (*stress-relieved* dan relaksasi rendah)	1860	ASTM 416M
Kawat (*stress-relieved* dan ralaksasi rendah)	1725	ASTM 421M
		ASTM 421M termasuk persyaratan tambahan S1, "kawat relaksasi rendah dan test relaksasi"
Tulangan mutu tinggi	1035	A722M

20.3.2.3 *Tegangan tulangan prategang terlekat pada kekuatan lentur nominal* f_{ps}

20.3.2.3.1 Sebagai alternative untuk perhitungan nilai f_{ps} yang lebih akurat berdasarkan pada kompatibilitas regangan, nilai dari f_{ps} yang dihitung sesuai Pers. 20.3.2.3.1 harus diizinkan untuk komponen dengan tulangan prategang terlekat jika semua tulangan prategang berada pada daerah tarik dan nilai dari $f_{se} \geq 0{,}5\, f_{pu}$.

$$f_{ps} = f_{pu}\left\{1-\frac{\gamma_p}{\beta_1}\left[\rho_p\frac{f_{pu}}{f_c'}+\frac{d}{d_p}\frac{f_y}{f_c'}\left(\rho-\rho'\right)\right]\right\} \quad (20.3.2.3.1)$$

Dimana γ_p sesuai Tabel 20.3.2.3.1

Jika tulangan tekan diikutsertakan pada perhitungan f_{ps} pada Pers. (20.3.2.3.1), a) dan b) harus dipenuhi.

a) Jika d' melebihi $0{,}15d_p$, tulangan tekan harus diabaikan pada Pers. (20.3.2.3.1)

PENJELASAN

MPa, tergantung diameter dan jenis kawat. Untuk diameter yang paling umum digunakan, 6 mm, ASTM A421M menetapkan kekuatan tariknya sebesar 1655 MPa.

R20.3.2.3 *Tegangan tulangan prategang terlekat pada kekuatan lentur nominal* f_{ps}

R20.3.2.3.1 Penggunaan Pers. (20.3.2.3.1) dapat menghasilkan kekuatan balok lebih rendah untuk beton dengan prosentase tulangan yang tinggi, dan untuk mengevaluasi kekuatan secara lebih akurat, kompabilitas regangan dan metode keseimbangan harus digunakan. Jika bagian dari tulangan prategang berada pada zona tekan, kompabilitas regangan dan metode keseimbangan harus digunakan.

Nilai γ_p pada Pers. (20.3.2.3.1) dan Tabel 20.3.2.3.1 menunjukkan pengaruh dari perbedaan jenis tulangan prategang terhadap nilai f_{ps}. Tabel R20.3.2.3.2 menunjukkan hubungan jenis tulangan prategang dan rasio f_{py}/f_{ps} .

R20.3.2.3.1(a) Jika nilai d' besar, regangan pada tulangan tekan dapat bernilai lebih kecil dari regangan lelehnya. Pada kasus semacam ini, tulangan tekan tidak mempengaruhi f_{ps} seperti yang disebutkan pada Pers. (20.3.2.3.1). Karena itu, jika d' melebihi $0{,}15d_p$, Pers.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

b)Jika tulangan tekan diikursertakan pada Pers. (20.3.2.3.1) maka nilai dari

$$\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p}\frac{f_y}{f_c}(\rho - \rho')$$

tidak boleh kurang dari 0,17.

Tabel 20.3.2.3.1 – Nilai dari γ_p untuk digunakan pada Pers. 20.3.2.3.1

f_{py}/f_{pu}	γ_p
≥ 0,80	0,55
≥ 0,85	0,40
≥ 0,90	0,28

20.3.2.3.2 Untuk *strand* pratarik, tegangan desain dari *strand* pada bagian komponen yang terletak disepanjang ℓ_d dari ujung bebas *strand* harus tidak melebihi yang dihitung pada 25.4.8.3.

20.3.2.4 *Tegangan tulangan prategang tanpa lekatan pada kekuatan lentur nominal* f_{ps}.

20.3.2.4.1 Sebagai alternatif untuk perhitungan nilai f_{ps} yang lebih akurat berdasarkan pada kompatibilitas regangan, nilai f_{ps} yang dihitung sesuai Tabel 20.3.2.4.1 harus diizinkan untuk komponen

PENJELASAN

(20.3.2.3.1) dapat digunakan hanya jika tulangan tekan diabaikan.

R20.3.2.3.1(b) Nilai **ρ'** pada Pers. (20.3.2.3.1) menunjukkan peningkatan nilai f_{ps} yang terjadi ketika terdapat tulangan tekan pada balok dengan indeks tulangan besar. Jika nilai $[\rho_p(f_{pu}/f_c')+(d/d_p)(f_y/f_c')(\rho-\rho')]$ kecil, kedalaman sumbu netral juga kecil, tulangan tekan tidak mencapai kekuatan lelehnya, dan Pers. (20.3.2.3.1) menjadi tidak konservatif. Karena alasan itu, nilai $[\rho_p(f_{pu}/f_c')+(d/d_p)(f_y/f_c')\ (\rho-\rho')]$ tidak boleh diambil lebih kecil dari 0,17 jika dalam perhitungan f_{ps} tulangan tekan dianggap ada. Tulangan tekan boleh diabaikan dalam Pers. (20.3.2.3.1) dengan memasukkan nilai **ρ'** sama dengan nol, sehingga nilai $[\rho_p(f_{pu}/f_c') + (d/d_p)(f_y/f_c')(\rho)]$ bisa jadi kurang dari 0,17 dan nilai f_{ps} yang diizinkan dapat dicapai.

Tabel R20.3.2.3.1 – Rasio f_{py}/f_{pu} dan hubungannya dengan tipe tulangan

Tipe tulangan prategang		f_{py}/f_{pu}
Tulangan prategang mutu tinggi	ASTM A722M Tipe I (Polos)	≥ 0,85
	ASTM A722M Tipe II (Ulir)	≥ 0,80
Strand dan kawat (*stress-relieved)*	ASTM A416M ASTM A421M	≥ 0,85
Strand dan kawat (relaksasi rendah)	ASTM A416M ASTM A421M	≥ 0,90

R20.3.2.4 *Tegangan tulangan prategang tanpa lekatan pada kekuatan lentur nominal* f_{ps}

R20.3.2.4.1 Nilai $[f_{se}+70+f_c'/(300\rho_p)]$ menunjukkan hasil pengujian elemen dengan tendon tanpa lekatan dan rasio panjang bentang terhadap tebal beton lebih besar dari 35 (pelat satu arah, pelat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

prategang dengan tendon tanpa lekatan jika $f_{se} \geq 0{,}5\, f_{pu}$.

Tabel 20.3.2.4.1 – Nilai pendekatan f_{ps} pada kekuatan lentur nominal untuk tendon tanpa lekatan

ℓ_n/h	f_{ps}	
≤ 35	Terkecil dari:	$f_{se} + 70 + f_c' / (100\ \rho_p)$
		$f_{se} + 240$
		f_{py}
> 35	Terkecil dari:	$f_{se} + 70 + f_c' / (300\ \rho_p)$
		$f_{se} + 210$
		f_{py}

20.3.2.5 *Tegangan tarik izin pada tulangan prategang*

20.3.2.5.1 Tegangan tarik tulangan prategang harus tidak melebihi batasan pada Tabel 20.3.2.5.1.

Tabel 20.3.2.5.1 – Tegangan tarik izin maksimum tulangan prategang

Tahapan	Lokasi	Tegangan tarik maksimum	
Saat *stressing*	Pada ujung *jacking*	Terkecil dari:	$0{,}94 f_{py}$
			$0{,}80 f_{pu}$
			Gaya *jacking* maksimum yang direkomendasikan oleh pemasok perangkat angkur
Sesaat setelah transfer gaya	Pada angkur pascatarik dan *couplers*	$0{,}70 f_{pu}$	

20.3.2.6 *Kehilangan prategang*

20.3.2.6.1 Kehilangan prategang harus dipertimbangkan pada perhitungan tegangan tarik efektif tulangan prategang, f_{se}, dan harus mengikutsertakan a) hingga f):

a) Pendudukan (*seating*) tulangan prategang saat transfer
b) Perpendekan elastis dari beton
c) Rangkak pada beton
d) Susut pada beton

PENJELASAN

datar dan slab datar) (Mojtahedi dan Gamble 1978). Pengujian ini menunjukkan bahwa $[f_{se}+70+f_c'/(100\rho_p)]$, yang biasanya digunakan untuk rasio panjang bentang teradap tebal, *overestimate* kenaikan tengangan pada balok tersebut. Meski pengujian yang sama menunjukkan bahwa kekuatan momen beton tipis yang dirancang menggunakan $[f_{se}+70+f_c'/(100\rho_p)]$ memenuhi persyaratan kekuatan beban berfaktor, hal ini menunjukkan efek persyaratan standar untuk tulangan lekatan minimum serta batas tegangan tarik beton yang sering menjadi kontrol untuk penentuan jumlah gaya prategang yang dibutuhkan.

R20.3.2.5 *Tegangan tarik izin pada tulangan prategang*

R20.3.2.5.1 Karena kekuatan leleh yang tinggi dari *strand* dan kawat relaksasi rendah memenuhi persyaratan ASTM A416M dan A421M termasuk persyaratan tambahan S1 “Kawat Relaksasi Rendah dan Uji Relaksasi” maka layak untuk menetapkan tegangan izin untuk kekuatan leleh dan kekuatan tarik minimum berdasarkan ASTM. Karena semakin tingginya tegangan inisial izin baja prategang yang diperbolehkan oleh peraturan sejak 1983, tegangan akhir bisa jadi lebih besar. Untuk struktur yang terdampak lingkungan korosif atau beban berulang, pembatasan tegangan akhir harus dipertimbangkan.

R20.3.2.6 *Kehilangan prategang*

R20.3.2.6.1 Untuk penjelasan cara perhitungan kehilangan prategang, lihat Joint ACI-ASCE Committee 423 (1958), ACI 435R, PCI Committee on Prestress Losses (1975), dan Zia et al. 1979), Perkiraan kehilangan prategang yang akurat dapat dihitung menurut rekomendasi Zia et al. (1979), yang memperhitungkan besar tegangan inisial ($\mathbf{0{,}7} f_{pu}$ atau lebih besar), tipe baja (*stress-relieved* atau relaksasi rendah kabel,

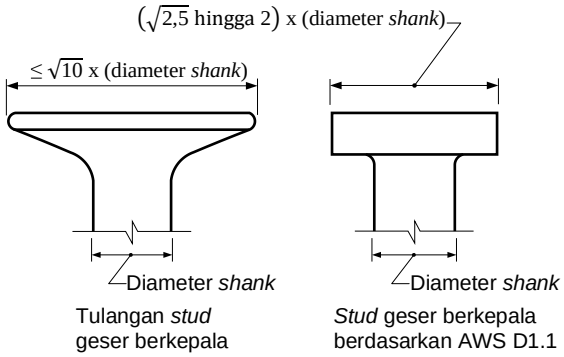
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
e) Relaksasi dari tulangan prategang f) Kehilangan gesekan akibat kurvatur yang disengaja maupun tidak disengaja pada tendon pascatarik	*strand*, atau batang), kondisi lingkungan, dan jenis konstruksi (pratarik, pascatarik dengan lekatan, atau pascatarik tanpa lekatan). Kehilangan aktual, lebih besar atau lebih kecil dari hasil perhitungan, tidak terlalu mempengaruhi kekuatan rencana struktur, tapi dapat berdampak pada perilaku kemampuan beban layan (defleksi, camber/lawan lendut, beban retak) dan perilaku sambungan. Pada beban layan, estimasi kehilangan prategang yang berlebihan bisa jadi sama merugikannya dengan underestimasi karena dapat menghasikal lawan lendut dan pergerakan horizotal berlebihan.
20.3.2.6.2 Perhitungan kehilangan gesek (*friction loss*) pada tendon pascatarik harus berdasarkan koefisien gesek tekuk dan *wobble* dari hasil ekperimental.	**R20.3.2.6.2** Perkiraan kehilangan friksi pada tendon pascatarik tercantum pada PTI TAB. 1. Nilai koefisien *wobble* dan friksi kurvatur yang digunakan untuk jenis tulangan prategang tertentu dan jenis *ducting* tertentu didapatkan dari data pabrikan pembuat tendon. Estimasi kehilangan friksi yang terlalu rendah berakibat pada camber (lawan lendut) yang tidak tepat, atau kemungkinan defleksi, pada komponen struktur dan gaya prategang yang tidak mencukupi. Estimasi friksi yang berlebihan berakibat pada camber (lawan lendut) yang berlebihan, dan perpendekan berlebih pada komponen struktur. Jika faktor friksi ditentukan kurang dari yang diasumsikan pada desain, tegangan tendon harus diatur supaya hanya sebesar gaya prategang kritis yang dibutuhkan strukur pada desain. Bila keamanan atau kemampuan layan struktur mungkin dipertimbangan, rentang gaya prategang izin atau syarat batas lain harus diberikan atau disetujui oleh perencana ahli bersertifikat yang harus memenuhi tegangan izin 20.3.2.5 dan 24.5.
20.3.2.6.3 Ketika kehilangan gaya prategang pada komponen diakibatkan oleh sambungan komponen pada konstruksi sebelahnya, kehilangan gaya prategang tersebut harus diikutsertakan pada perhitungan desain.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
20.4 - Baja, pipa, dan tabung struktural untuk kolom komposit	**R20.4 - Baja, pipa atau tabung struktural untuk kolom komposit**
20.4.1 *Properti Material*	
20.4.1.1 Baja struktural selain pipa atau tabung baja yang digunakan pada kolom komposit harus sesuai a), b), c), d), atau e): a) ASTM 365M – Baja karbon b) ASTM A242M – Baja mutu tinggi, *alloy* rendah c) ASTM 572M – Baja mutu tinggi, *alloy* rendah, baja columbium-vanadium d) ASTM A588M - Baja mutu tinggi, *alloy* rendah, baja 345 MPa e) ASTM A992M – Bentuk struktural	
20.4.1.2 Pipa atau tabung baja digunakan pada kolom komposit untuk membungkus inti beton harus sesuai a), b), c), atau d): a) ASTM A53M – Kelas B – baja hitam, *hot-dipped*, dilapisi seng b) ASTM A500M – *Cold-formed*, las, *seamless* c) ASTM A501M – *Hot formed, cold formed*, las d) ASTM A1085 – *Cold formed*, las	
20.4.2. *Properti desain*	**R20.4.2.** *Properti desain*
20.4.2.1 Untuk baja struktural pada kolom komposit, nilai maksimum dari f_y harus sesuai dengan ASTM pada 20.4.1.	
20.4.2.2 Untuk baja struktural yang digunakan pada kolom komposit dengan inti baja struktural, nilai f_y tidak boleh melebihi 350 MPa.	**R20.4.2.2** Kekuatan leleh desain untuk inti baja harus dibatasi agar penutup beton tidak lepas. Diasumsikan bahwa beton yang tertekan secara aksial agar penutup beton tidak lepas pada regangan kurang dari 0,0018. Kekuatan leleh 0,0018 x 200000, atau 360 MPa, yang mewakili batas atas dari tegangan maksimum baja yang dapat digunakan.
20.5 - Tulangan *stud* geser berkepala	**R20.5 - Tulangan *stud* geser berkepala**
20.5.1 Tulangan *stud* geser berkepala dan rakitan *stud* harus sesuai ASTM A1044M.	**R20.5.1** Konfigurasi *stud* untuk tulangan *stud* geser berkepala berbeda dengan konfigurasi tulangan geser jenis kepala yang disebutkan di bagian 7 AWS D1.1 (2010) dan rujukan yang digunakan pada Pasal 17 standar ini (Gambar R20.5.1). Rasio luas penampang kepala berbanding tulangan dari AWS D1.1 berada pada

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kisaran 2,5 hingga 4. Sebaliknya, ASTM A1044M mensyaratkan luas kepala dari tulangan *stud* geser berkepala setidaknya 10 kali luas penampang tulangan. Sehingga, *stud* berkepala berdasarkan AWS D1.1 tidak sesuai untuk digunakan sebagai tulangan *stud* geser berkepala. Material penambat, yang disiapkan, menjangkarkan salah satu ujung dari *stud*; ASTM A1044M menentukan lebar dan tebal material penambat yang mampu memenuhi persyaratan ankur tanpa leleh untuk kaki *stud* berdiameter 9,5, 12,7, 15,9, dan 19 mm. Pada ASTM A1044M, kekuatan leleh minimum yang disyaratkan untuk *stud* geser berkepala adalah 350 MPa.
	
	Gambar R20.5.1 – Konfigurasi kepala *stud*
20.6 - Ketentuan durabilitas baja tulangan	**R20.6 - Ketentuan durabilitas baja tulangan**
20.6.1 *Persyaratan selimut beton*	**R20.6.1** *Persyaratan selimut beton* – Pada pasal ini dijelaskan mengenai selimut beton untuk tulangan dan tidak termasuk persyaratan untuk lapisan beton untuk material tertanam seperti pipa, saluran air dan *fitting*, seperti yang telah dijelaskan dalam 20.7.5
20.6.1.1 Kecuali peraturan umum gedung mensyaratkan ketebalan selimut beton yang lebih besar untuk perlindungan terhadap kebakaran, selimut beton minimum harus diambil sesuai 20.6.1.2 hingga 20.6.1.4.	**R20.6.1.1** Selimut beton yang merupakan pelindung tulangan terhadap cuaca atau efek lainnya diukur dari permukaan paling luar tulangan, sesuai dengan persyaratan selimut beton yang berlaku. Dengan selimut beton untuk kelas komponen struktural diukur dari sisi terluar tulangan sengkang, ikat dan spiral jika tulangan transveral melingkupi tulangan utama; dari lapisan terluar dari tulangan jika terdapat lebih dari satu lapis tulangan yang digunakan tanpa tulangan sengkang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	atau ikat; dari logam pengikat ujung atau selongsong tendon pascatarik; atau dari bagian terluar dari kepala pada batang tulangan berkepala. Kondisi “terpapar cuaca atau kontak dengan tanah” merupakan bentuk paparan langsung tidak hanya oleh perubahan suhu tetapi juga oleh perubahan kelembaban. Sisi bawah pelat (*slab soffits*) biasanya tidak secara langsung mengalami paparan kecuali dipengaruhi oleh adanya kondisi selang-seling kering dan basah termasuk kondisi pengembunan atau kebocoran langsung dari permukaan atas yang terpapar, limpasan permukaan atau efek lain yang sejenis. Metode alternatif untuk melindungi tulangan dari cuaca dapat dilakukan jika metode tersebut setara dengan selimut beton tambahan yang telah disyaratkan oleh standar ini. Ketika disetujui oleh pihak yang berwenang sesuai 1.10, tulangan dengan perlindungan alternatif terhadap cuaca tidak boleh memiliki selimut beton kurang dari yang disyaratkan bagi tulangan yang tidak terekspos oleh cuaca. Panjang penyaluran tulangan yang dibutuhkan seperti yang diberikan pada Pasal 25 merupakan fungsi dari selimut beton untuk tulangan. Untuk memenuhi persyaratan panjang penyaluran tulangan yang dibutuhkan, penggunaan selimut beton yang lebih besar daripada spesifikasi minimum yang telah diberikan pada 20.6.1 mungkin diperlukan.
20.6.1.2 Harus diizinkan untuk mengikutsertakan penutup lantai beton sebagai bagian dari selimut beton yang disyaratkan untuk tujuan nonstruktural	**R20.6.1.2** Lapisan *finishing* pelat lantai boleh digunakan untuk keperluan nonstruktur seperti selimut tulangan dan proteksi api. Peraturan harus dibuat, untuk memastikan bahwa lapisan beton tidak lepas, yang bisa mengurangi tebal selimut beton. Selain itu, pertimbangan untuk panjang penyaluran memerlukan selimut beton yang menyatu seperti 20.6.1.3.
20.6.1.3 *Persyaratan-persyaratan selimut beton*	**R20.6.1.3** *Persyaratan-persyaratan selimut beton*
20.6.1.3.1 komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat harus memiliki selimut beton sekurang-kurangnya seperti yang diperlihatkan pada Tabel 20.6.1.3.1.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

Tabel 20.6.1.3.1 – Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat ∅13 atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

20.6.1.3.2 Elemen beton prategang yang dicor di tempat harus memiliki ketebalan selimut beton untuk tulangan, *ducting* dan *end fittings* sekurang-kurangnya seperti yang disyaratkan pada Tabel 20.6.1.3.2.

PENJELASAN

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

Tabel 20.6.1.3.2 Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton prategang yang dicor di tempat

Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding	Semua	25
	lainnya	Semua	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding	Semua	20
	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama	40
		Sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	25

20.6.1.3.3 Beton pracetak nonprategang atau prategang yang diproduksi pada kondisi pabrik harus memiliki ketebalan selimut beton untuk tulangan, *ducting* dan *end fittings* sekurang-kurangnya seperti yang disyaratkan pada Tabel 20.6.1.3.3.

PENJELASAN

R20.6.1.3.3 Semakin tipis ketebalan selimut beton pada konstruksi beton pracetak, menunjukan semakin besar kontrol yang dibutuhkan untuk pengaturan proporsi campuran, penempatan dan perawatan (*curing*) yang tidak dapat dipisahkan dalam pembuatan beton pracetak. Walaupun dikerjakan dalam kondisi pabrik tidak berarti bahwa bagian pracetak harus dicetak di pabrik. Elemen struktural pracetak yang diletakan di area kerja juga akan dikualifikasi sesuai dengan bagian ini jika kontrol terhadap dimensi bentuk, penempatan tulangan, kontrol kualitas beton beserta prosedur perawatannya sama dengan yang biasanya dilakukan di pabrik.

Selimut beton untuk tendon pratarik seperti yang dijelaskan pada bagian ini ditujukan untuk memberikan perlindungan minimum dari cuaca atau efek lainnya. Selimut beton mungkin tidak cukup untuk mentransfer atau penyaluran tegangan pada tendon, dan karena itu peningkatan ukuran selimut mungkin diperlukan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR **PENJELASAN**

Tabel 20.6.1.3.3 – Ketebalan selimut beton untuk beton pracetak nonprategang dan prategang yang diproduksi pada kondisi pabrik

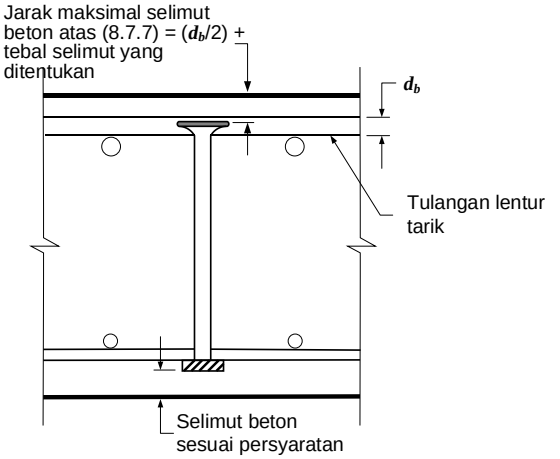
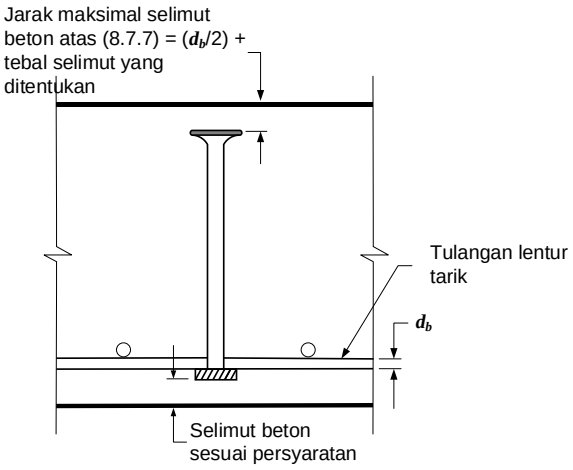
Paparan	Komponen struktur	Tulangan	Ketebalan selimut, mm
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Dinding	Batang D43 dan D57; tendon dengan diameter lebih besar dari 40 mm	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil; Kawat ∅13 dan D13 dan yang lebih kecil; tendon dan *strand* diameter 40 mm dan yang lebih kecil	20
	lainnya	Batang D43 dan D57; tendon lebih besar dari diameter 40	50
		Batang D19 hingga D36; tendon dan *strand* lebih besar dari diameter 16 mm sampai dengan diameter 40 mm	40
		Batang D16, kawat ∅13 atau D13 dan yang lebih kecil; tendon dan *strand* dengan diameter 16 mm atau yang lebih kecil	30
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57; tendon dengan diameter lebih besar dari 40 mm	30
		Tendon dan *strand* dengan diameter 40 mm dan yang lebih kecil	20
		Batang D36, kawat ∅13 atau D13 dan yang lebih kecil	16
	Balok, Kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama	Lebih besar dari d_b dan 16 dan tidak boleh melebihi 40
		Sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	10

20.6.1.3.4 Untuk tulangan bundel, ketebalan selumut paling tidak nilai yang terkecil dari a) dan b):

a) Diameter ekuivalen dari bundel
b) 50 mm

Untuk beton yang dicor dan kontak dengan tanah secara permanen, selimut beton yang disyaratkan harus diambil sebesar 75 mm.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
20.6.1.3.5 Untuk tulangan geser *stud*, ketebalan selimut dari kepala dan dasar rel harus paling tidak yang disyaratkan untuk tulangan pada komponen tersebut.	**R20.6.1.3.5** Selimut beton yang dibutuhkan untuk tulangan *stud* geser berkepala dapat dilihat pada Gambar R20.6.1.3.5.
	 *(a) Slab dengan tulangan atas dan bawah*
	 *(b) Fondasi dengan tulang tunggal di bawah*
	Gambar R20.6.1.3.5 – Persyaratan selimut beton untuk tulangan *stud* geser berkepala
20.6.1.4 *Persyaratan ketebalan selimut beton untuk lingkungan korosif*	**R20.6.1.4** *Persyaratan ketebalan selimut beton untuk lingkungan korosif* – lingkungan korosif didefinisikan pada 19.3.1, R19.3.1 dan R19.3.2. Informasi tambahan untuk korosi pada struktur gedung parkir diberikan di ACI 362.1R.
20.6.1.4.1 Pada lingkungan yang korosif atau kondisi paparan yang parah, persyaratan ketebalan selimut beton perlu ditingkatkan. Persyaratan yang sesuai untuk beton didasarkan pada kategori paparan di 19.3 harus dipenuhi atau perlindungan lain harus disediakan.	**R20.6.1.4.1** Ketika beton akan terpapar klorida bebas, seperti garam terlarut, air payau, air laut, atau cipratan dari sumber-sumber tersebut, beton harus didesain secara proporsional untuk memenuhi persyaratan agar bisa diaplikasikan pada kelas paparan sesuai Pasal 19. Termasuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

20.6.1.4.2 Untuk elemen beton prategang yang diklasifikasikan pada kelas T atau C pada 24.5.2 dan terpapar lingkungan yang korosif atau kategori paparan parah seperti kategori yang ditunjukkan pada 19.3, ketebalan penutup beton harus paling tidak satu setengah kali ketebalan selimut pada 20.6.1.3.2 untuk elemen yang dicor di tempat dan 20.6.1.3.3 untuk elemen pracetak.

20.6.2 *Tulangan nonprategang dicoating*

20.6.2.1 Tulangan nonprategang di*coating* harus sesuai Tabel 20.6.2.1

Tabel 20.6.2.1 – Tulangan nonprategang di*coating*

Tipe Coating	Spesifikasi ASTM yang sesuai		
	Batang	Kawat	Kawat las
Seng	A767M	Tidak diizinkan	A1060M
Epoksi	A775M atau A934M	A884M	A884M
Seng dan Epoksi (dua lapis)	A1055M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan

20.6.2.2 Tulangan ulir yang dilapisi dengan seng, epoksi atau keduanya harus sesuai 20.2.1.3 a), b) atau c)

20.6.2.3 Tulangan kawat dan tulangan kawat las yang dilapisi dengan epoksi harus memenuhi 20.2.1.7a)

PENJELASAN

rasio maksimum ***w/cm***, kekuatan minimum untuk beton normal dan beton ringan, dan maksimum ion klorida di dalam beton. Untuk perlindungan terhadap korosi, selimut beton untuk tulangan tidak boleh kurang dari 50 mm untuk dinding dan pelat dan tidak direkomendasikan kurang dari 65 mm untuk komponen struktur lainnya. Untuk beton pracetak yang dikerjakan sesuai kondisi pabrik, selimut beton khusus tersebut tidak boleh kurang dari 40 mm untuk dinding dan pelat, dan direkomendasikan tidak kurang dari 50 mm untuk komponen struktur lainnya.

R20.6.2 *Tulangan nonprategang dicoating*

R20.6.2.1 Tulangan yang dilapisi (*coating)* dengan seng (*Hot-diped galvanizing*) (ASTM A767M), tulangan terlapisi epoksi (ASTM A775M dan A934M), dan tulangan berlapis seng dan epoksi (ASTM A1055M) digunakan ketika ketahanan tulangan terhadap korosi menjadi pertimbangan khusus seperti pada struktur gedung parkir, struktur jembatan dan lingkungan lain yang sangat korosif.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
20.6.3 *Perlindungan terhadap korosi untuk tulangan prategang tanpa lekatan*	**R20.6.3** *Perlindungan terhadap korosi untuk tulangan prategang tanpa lekatan*
20.6.3.1 Tulangan prategang tanpa lekatan harus tutupi dengan selubung (*sheathing*) dan rongga antara *strand* dan selubung harus diisi dengan material yang diformulasikan untuk menghambat korosi. Selubung harus kedap terhadap air dan dipasang menerus sepanjang bagian tanpa lekatan.	**R20.6.3.1** Material untuk perlindungan korosi pada tulangan pratarik tanpa lekatan (*unbonded*) harus memiliki karakter seperti yang dijabarkan pada 19.1 pada Breen et al. (1994). Umumnya, selubung (*sheathing*) adalah material menerus, tanpa sambungan dan polyethylene densitas tinggi yang diekstrusi secara langsung pada tulangan prategang terlapisi.
20.6.3.2 Selubung dan sambungannya harus menjamin kondisi kedap air pada angkur tetap, tengah dan angkur lainnya.	
20.6.3.3 Tendon *strand* tunggal tanpa lekatan harus diproteksi untuk menyediakan tahanan terhadap korosi sesuai ACI 423.7.	
20.6.4 *Perlindungan korosi untuk tendon yang di*grout	**R20.6.4** *Perlindungan korosi untuk tendon yang di*grout
20.6.4.1 Selongsong (*duct*) untuk tendon yang digrout harus digrout dengan padat dan tidak reaktif dengan beton, tulangan prategang, material *grout* dan bahan pencampur (*admixture*) penghambat korosi (*inhibitor*).	
20.6.4.2 Selongsong harus dipertahankan tidak kontak dengan air.	**R20.6.4.2** Air pada selongsong (*duct*) mungkin dapat menyebabkan korosi pada tulangan pratarik, yang berdampak pada terjadinya segregasi dan *bleeding* pada *grout*, dan menyebabkan kehilangan tegangan di sekitar beton jika terpapar kondisi beku. Pencegah korosi (*corrosion inhibitor*) harus digunakan untuk memberikan perlindungan sementara terhadap korosi jika tulangan pratarik terekspos di dalam selongsong dalam jangka waktu lama sebelum di*grouting* (ACI 423.7).
20.6.4.2.3 Selongsong untuk kawat tunggal, *strand* tunggal atau batang tendon tunggal yang di*grout* harus memiliki diameter paling tidak 6 mm lebih besar dari diameter tulangan prategang.	
20.6.4.4 Selongsong untuk kawat, *strand* atau batang tendon majemuk yang di*grout*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
harus memiliki luasan penampang dalam paling tidak dua kali luasan penampang tulangan prategang.	
20.6.5 *Perlindungan korosi untuk angkur,* couplers *dan* fitting *pascatarik*	**R20.6.5** *Perlindungan korosi untuk angkur,* couplers *dan* fitting *pascatarik*
20.6.5.1 Angkur, *couplers,* dan *fitting* ujung harus terlindung untuk menyediakan ketahanan jangka panjang terhadap korosi	**R20.6.5.1** Untuk rekomendasi terkait perlindungan, lihat 4.2 dan 4.3 Mojtahedi dan Gamble (1978) dan 3.4, 3.6, 5, 6, dan 6.3 Breen et al. (1994).
20.6.6 *Perlindungan korosi untuk tulangan pascatarik eksternal*	**R20.6.6** *Perlindungan korosi untuk tulangan* pascatarik *eksternal*
20.6.6.1 Daerah tendon eksternal dan angkur tendon harus terproteksi untuk menyediakan ketahanan terhadap korosi.	**R20.6.6.1** Perlindungan korosi dapat dilakukan dengan berbagai metode. Perlindungan korosi yang dilakukan harus sesuai dengan lingkungan dimana tendon berada. Beberapa persyaratan mengharuskan tulangan prategang dilindungi oleh selimut beton atau oleh semen *grout* dalam selongsong *polyethylene* atau logam; persyaratan lain mengizinkan perlindungan dengan menggunakan lapisan seperti cat atau minyak. Metode perlindungan karat harus memenuhi persyaratan perlindungan dari kebakaran sesuai peraturan umum bangunan, kecuali jika pemasangan tulangan pascatarik hanya bertujuan untuk meningkatkan kemampuan layan.
20.7 - Penanaman	**R20.7 - Penanaman**
20.7.1 Penanaman harus tidak mengganggu kekuatan struktur dan tidak mengurangi proteksi terhadap kebakaran.	**R20.7.1** Segala jenis penanaman yang tidak membahayakan beton atau tulangan dapat diletakkan di dalam beton, tetapi pengerjaannya harus dilakukan dengan baik sehingga struktur tersebut tidak rusak. Banyak peraturan umum bangunan yang mengadopsi peraturan pemipaan ASEM B31.1 untuk pemipaan listrik dan B31.3 untuk sistem pemipaan bahan kimia dan minyak bumi. Perencana ahli bersertifikat harus memastikan bahwa peraturan pemipaan yang sesuai digunakan dalam desain dan pengujian sistem. Kontraktor tidak diizinkan memasang konduit, pipa, selongsong atau selubung yang tidak sesuai dengan dokumen konstruksi atau tidak disetujui oleh perencana ahli bersertifikat.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
20.7.2 Material tertanam harus tidak berbahaya bagi beton dan tulangan.	
20.7.3 Penanaman aluminium harus di lapisi atau dilindungi untuk mencegah reaksi aluminium-beton dan aksi elektrolitik antara aluminium dan baja.	**R20.7.3** Standar ini melarang penggunaan alumunium pada beton struktural kecuali beton tersebut telah dilapisi atau ditutupi secara efektif. Alumunium bereaksi terhadap beton, saat terjadi kontak dengan ion klorida, reaksi elektrolisis dengan baja juga dapat terjadi, yang menyebabkan terjadinya retak, spalling atau keduanya. Aliran listrik pada alumunium menghasilkan permasalahan tersendiri karena aliran listrik bebas dapat mempercepat reaksi yang merusak beton. 26.4.1.4.1 (c) melarang penggunaan kalsium klorida atau segala jenis *admixture* yang mengandung klorida bersamaan dengan penanaman alumunium.
20.7.4 Tulangan dengan luasan sekurang-kurangnya 0,002 kali luasan penampang beton harus dipasang tegak lurus terhadap arah penanaman pipa.	
20.7.5 Ketebalan selimut beton untuk pipa yang ditanam dengan dudukan *(fitting)* harus paling tidak 40 mm untuk beton yang terpapar cuaca dan paling tidak 20 mm untuk beton yang tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 21 – FAKTOR REDUKSI KEKUATAN

21.1 - Ruang lingkup

21.1.1 Pasal ini menjelaskan faktor reduksi kekuatan yang digunakan dalam desain struktur beton, kecuali yang diperbolehkan pada Pasal 27.

R21.1 - Ruang lingkup

R21.1.1 Fungsi faktor reduksi kekuatan ϕ adalah: (1) untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi (*under-strength*) karena perbedaan dimensi dan kekuatan material; (2) untuk memperkirakan ketidaktepatan pada tahap perancangan; (3) untuk merefleksikan ketersediaan daktilitas dan tingkat keandalan yang diperlukan komponen struktur relatif terhadap beban; (4) untuk menyatakan seberapa penting komponen strktur terhadap keseluruhan struktur (MacGregor 1976; Winter 1979).

21.2 - Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan

21.2.1 Faktor reduksi kekuatan ϕ yang digunakan dalam perancangan harus sesuai dengan Tabel 21.2.1, kecuali yang termodifikasi dalam 21.2.2, 21.2.3, dan 21.2.4.

R21.2 - Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan

R21.2.1 Faktor reduksi kekuatan dalam standar ini telah sesuai dengan kombinasi beban SNI 1727 dan SNI 1726, yang merupakan dasar kombinasi pembebanan pada Pasal 5:

(e) Hasil uji laboratorium untuk zona angkur pascatarik menunjukkan variasi hasil yang tersebar. Penelitian ini dilakukan dengan memasukkan nilai ϕ sebesar 0,85 dan membatasi parameter kekuatan tekan nominal beton tidak terkekang (*unconfined concrete*) di daerah $\mathbf{0{,}7\lambda f_{ci}'}$ pada 25.9.4.5.2, sebagaimana nilai λ yang dijelaskan di 19.2.4. Oleh karena itu, kekuatan efektif untuk perancangan beton tidak terkekang adalah $\mathbf{0{,}85 \times 0{,}7\,\lambda f_{ci}' = 0{,}6\,\lambda f_{ci}'}$, atau sama dengan $\mathbf{0{,}6\,\lambda f_{ci}'}$, di zona umum.

(f) Perilaku *bracket* dan korbel diatur oleh geser, sehingga angka ϕ = **0,75** digunakan untuk semua moda keruntuhan.

(i) Nilai faktor reduksi kekuatan ϕ untuk semua moda keruntuhan beton polos adalah sama. Karena kekuatan lentur dan kekuatan geser untuk beton polos bergantung dari kekuatan tarik beton, tanpa kekuatan cadangan maupun daktilitas tulangan, faktor reduksi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 21.2.1 – Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (*pretension*) dimana *strand* belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c)	Torsi	0,75	-
d)	Tumpu (*bearing*)	0,65	-
e)	Zona angkur pascatarik (*post-tension*)	0,85	-
f)	*Bracket* dan korbel	0,75	-
g)	*Strut*, *ties*, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan *strut-and-tie* di Pasal 23	0,75	-
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i)	Beton polos	0,60	-
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

21.2.2 Faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial harus sesuai dengan Tabel 21.2.2.

21.2.2.1 Untuk tulangan ulir, ε_{ty} sama dengan f_y / E_s. Untuk tulangan ulir mutu 420 MPa, diizinkan nilai ε_{ty} diambil sebesar 0,002.

PENJELASAN

kekuatan untuk momen dan geser adalah sama besar.

R21.2.2 Nilai kekuatan nominal komponen struktur yang mengalami momen, atau kombinasi momen dan gaya aksial ditentukan oleh kondisi dimana regangan dalam serat tekan terjauh sama dengan asumsi batas regangan, yaitu 0,003. Regangan tarik netto ε_t adalah regangan tarik tulangan tarik terjauh pada kekuatan nominal (tidak termasuk regangan yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
21.2.2.2 Untuk tulangan prategang, nilai ε_{ty} harus diambil sebesar 0,002.	terjadi akibat prategang, rangkak, susut, dan suhu). Regangan tarik netto dalam tulangan tarik terjauh ditentukan dari distribusi linier regangan pada kekuatan nominal, seperti ditunjukkan pada Gambar R21.2.2a untuk komponen nonprategang. Komponen struktur yang hanya menerima gaya tekan aksial dianggap terkontrol tekan (*compression-controlled*) dan komponen struktur yang hanya menerima gaya tarik aksial dianggap terkontrol tarik (*tension-controlled*). Jika regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh cukup besar (≥ 0,005), maka komponen dianggap terkontrol tarik (*tension-controlled*), dimana keruntuhan akan ditandai oleh keretakan atau defleksi yang berlebihan pada komponen struktur. Umumnya batas 0,005 memberikan daktilitas yang cukup dalam penerapan yang umum. Perilaku daktail lebih besar dibutuhkan untuk perancangan penampang dan rangka menerus yang membutuhkan redistribusi momen, yang dijelaskan di 6.6.5. Karena redistribusi momen bergantung pada daktilitas di zona plastis, redistribusi momen dibatasi pada penampang dengan regangan tarik netto sedikitnya 0,0075. Jika regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh kecil ($\leq\varepsilon_{ty}$), akan terjadi keruntuhan getas yang terjadi secara tiba-tiba tanpa tanda peringatan sebelumnya. Sebelum terbitnya ACI 318-14, batas regangan untuk penampang terkontrol tekan adalah 0,002 untuk tulangan dengan mutu 420 dan semua tulangan prategang, namun tidak dijelaskan secara eksplisit untuk tulangan jenis lainnya. Di ACI 318-14, batas regangan untuk penampang terkontrol tekan dijelaskan secara berurutan di 21.2.2.1 dan 21.2.2.2 untuk tulangan ulir dan prategang. Balok dan pelat umumnya terkontrol tarik, sedangkan kolom umumnya terkontrol tekan. Beberapa komponen yang menerima gaya aksial dalam jumlah kecil dan momen lentur dalam jumlah besar, batas regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh adalah 0,005 dan ε_{ty}. Penampang ini berada dalam zona transisi antara zona terkontrol tekan dan zona terkontrol tarik. Pasal ini menjelaskan faktor reduksi kekuatan untuk penampang terkontrol tekan dan terkontrol tarik, serta penampang dalam zona transisi. Untuk penampang yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

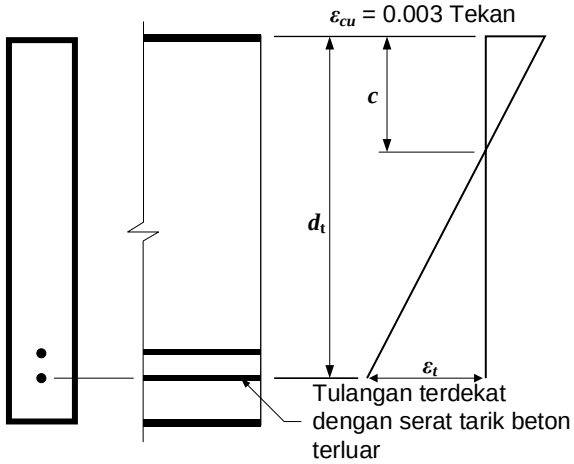
menerima kombinasi momen dan gaya aksial, kekuatan desain ditentukan dengan mengalikan P_n dan M_n dengan nilai ϕ yang sesuai.

Penampang terkontrol tekan menggunakan nilai ϕ yang lebih rendah daripada penampang terkontrol tarik. Karena penampang terkontrol tekan mempunyai daktilitas lebih rendah, lebih sensitif terhadap variasi kekuatan beton, dan umumnya memiliki luas permukaan beban yang lebih besar dibanding penampang terkontrol tarik. Kolom tulangan spiral mempunyai nilai ϕ lebih besar dibandingkan kolom tulangan transversal tipe lain, karena kolom tulangan spiral mempunyai daktilitas dan ketangguhan yang lebih tinggi. Untuk penampang dalam zona transisi, nilai ϕ ditentukan dengan interpolasi linier yang ditunjukkan di Gambar R21.2.2b.

Tabel 21.2.2 – Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

Regangan tarik netto (ε_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\varepsilon_t \le \varepsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0{,}005$	Transisi[1]	$0{,}75+0{,}15\dfrac{(\varepsilon_t-\varepsilon_{ty})}{(0{,}005-\varepsilon_{ty})}$	c)	$0{,}65+0{,}25\dfrac{(\varepsilon_t-\varepsilon_{ty})}{(0{,}005-\varepsilon_{ty})}$	d)
$\varepsilon_t \ge 0{,}005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

[1] Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan

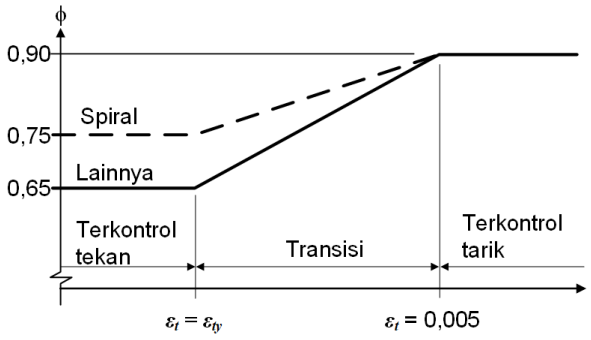


"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

Gambar R21.2.2a – Distribusi tegangan dan regangan tarik netto pada komponen nonprategang



Gambar R21.2.2b – Variasi nilai ϕ regangan tarik netto pada tulangan tarik terjauh, ε_t

21.2.3 Untuk penampang pada komponen prategang dimana *strand* belum sepenuhnya bekerja, nilai ϕ dihitung sesuai dengan Tabel 21.2.3, dimana nilai ℓ_{tr} dihitung menggunakan Pers. (21.2.3), ℓ_{db} adalah panjang tidak terlekat di ujung penampang, f_{se} adalah tegangan efektif baja prategang (setelah semua kehilangan prategang terjadi), dan ℓ_d ditunjukkan di 25.4.8.1.

$$\ell_{tr} = \left[\frac{f_{se}}{21}\right] d_b \qquad (21.2.3)$$

Tabel 21.2.3 – Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk seksi akhir dari prategang

Kondisi di dekat ujung komponen	Tegangan beton akibat beban layan[1]	Jarak dari ujung komponen ke penampang yang ditinjau	ϕ

R21.2.3 Jika penampang kritis sepanjang komponen pratarik di zona dimana *strand* belum sepenuhnya tersalurkan, kemungkinan akan terjadi keruntuhan lekatan *slip* (*bond slip failure*). Keruntuhan ini mirip dengan keruntuhan geser getas (*brittle shear failure*) yang disebabkan karena material terlalu getas; oleh karena itu nilai ϕ lebih kecil untuk kekuatan lentur penampang dengan komponen *strand* yang belum sepenuhnya tersalurkan. Nilai ϕ di ujung panjang transfer dan ujung panjang penyaluran penampang ditentukan dengan interpolasi linear, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R21.2.3a.

Jika satu atau lebih *strand* tidak tersalurkan sampai ujung penampang, maka nilai ϕ adalah 0,75 dari ujung penampang sampai ujung panjang transfer *strand* dengan memperhitungkan panjang *strand* terpanjang tanpa lekatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

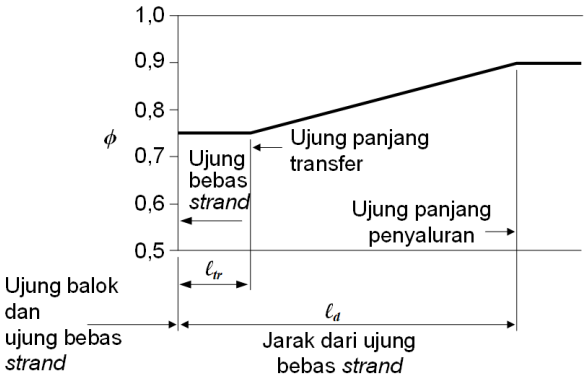
STANDAR

Semua *strand* terlekat	Tidak berlaku	$\leq \ell_{tr}$	0,75	a)
		ℓ_{tr} hingga ℓ_d	Interpolasi linier dari 0,75 ke 0,90[2]	b)
Satu atau lebih *strand* tanpa lekatan	Tarik tidak terhitung	$\leq (\ell_{db} + \ell_{tr})$	0,75	c)
		$(\ell_{db} + \ell_{tr})$ hingga $(\ell_{db} + \ell_d)$	Interpolasi linier dari 0,75 ke 0,90[2]	d)
	Tarik dihitung	$\leq (\ell_{db} + \ell_{tr})$	0,75	e)
		$(\ell_{db} + \ell_{tr})$ hingga $(\ell_{db} + 2\ell_d)$	Interpolasi linier dari 0,75 ke 0,90[2]	f)

[1]Tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif (setelah semua kehilangan prategang terjadi) pada serat terjauh penampang dimana tegangan tarik akibat beban terjadi.
[2]Diperbolehkan memakai nilai faktor reduksi 0,75.

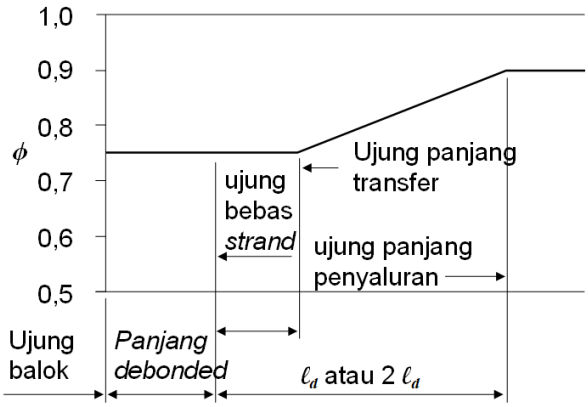
PENJELASAN

(*unbonded*). Untuk lainnya, nilai ϕ bervariasi secara linier dari titik penyaluran *strand* dengan batas nilai ϕ adalah 0,90, seperti yang ditunjukkan di Gambar R21.2.3b. Kontribusi *strand* tanpa lekatan (*unbonded*) sebaiknya diabaikan sampai *strand* tersalurkan sepenuhnya. Terpasangnya *strand* tanpa lekatan dihitung mulai dari ujung bebas *strand* terputus tanpa lapisan. Di luar ini, pasal 25.4.8.1 digunakan untuk menentukan apakah panjang *strand* tergolong ℓ_d atau $2\ell_d$, dengan memperhitungkan tegangan pada zona tarik pratekan relatif terhadap beban (Gambar 21.2.3b). *Strand* dengan permukaan berkarat dapat memiliki panjang transfer lebih pendek dibandingkan *strand* dengan permukaan tanpa karat. *Strand* yang dicabut secara perlahan-lahan akan mempunyai panjang transfer yang lebih pendek dibandingkan *strand* yang dipotong.



Gambar R21.2.3a – Variasi nilai ϕ dengan jarak dari ujung bebas strand dalam komponen struktur pratarik dengan *strand* lekatan penuh

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 Catatan: Ujung panjang penyaluran tergantung tegangan tarik serat beton terluar di daerah prategang, akibat beban hidup layan **Gambar R21.2.3b – Variasi nilai ϕ dengan jarak dari ujung bebas *strand* dalam komponen struktur pratarik dengan *strand* tanpa lekatan (*unbonded*)**
21.2.4 Untuk struktur yang bergantung dari elemen a), b), atau c) untuk menahan gaya gempa E, nilai ϕ untuk gaya geser harus dimodifikasi sesuai dengan 21.2.4.1 hingga 21.2.4.3: a) Sistem rangka pemikul momen khusus b) Dinding struktural khusus c) Dinding struktural pracetak menengah yang memenuhi persyaratan Kategori Desain Seismik D, E, atau F	
21.2.4.1 Untuk komponen yang didesain dapat menahan gempa E, nilai ϕ untuk geser apabila kekuatan nominal penampang kurang dari kekuatan geser nominal beton adalah 0,60. Kekuatan nominal harus dihitung dengan pertimbangan beban aksial terfaktor paling kritis termasuk E.	**R21.2.4.1** Ketentuan ini mengatur komponen terkontrol geser (*shear-controlled*), seperti dinding bertingkat rendah, bagian dinding di antara bukaan (*opening*), atau diafragma, dimana kekuatan geser nominal adalah kurang dari geser terkait perkembangan kekuatan nominal letertur untuk kondisi beban berkaitan.
21.2.4.2 Untuk diafragma, nilai ϕ untuk geser tidak boleh melebihi nilai minimum ϕ yang digunakan untuk komponen vertikal dalam sistem struktur tahan gempa.	**R21.2.4.2** Dinding struktural pendek merupakan elemen utama struktur vertikal tahan gempa yang digunakan pada gedung parkir saat terjadi gempa Northridge tahun 1994. Dalam beberapa kasus, dinding tetap elastis linier, sedangkan diafragma menjadi inelastis. Pasal ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan diafragma dan sambungan pada struktur gedung, dimana

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	faktor reduksi kekuatan untuk dinding adalah 0,60, umumnya struktur tersebut memiliki kekuatan lebih (*overstrength*) terlalu tinggi.
21.2.4.3 Untuk sambungan balok-kolom dan balok kopel dengan tulangan diagonal, ϕ untuk geser harus diambil sebesar 0,85.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 22 - KEKUATAN PENAMPANG

22.1 - Ruang lingkup

22.1.1 Pasal ini menjelaskan metode untuk menghitung kekuatan nominal penampang pada setiap komponen, termasuk a) hingga g):

a) Kekuatan lentur
b) Kuat aksial atau kombinasi kekuatan lentur dan kuat aksial
c) Kekuatan geser satu arah
d) Kekuatan geser dua arah
e) Kekuatan torsi
f) Kekuatan tumpu (*bearing*)
g) Geser friksi (*shear friction*)

22.1.2 Persyaratan kekuatan penampang pada pasal ini harus dipenuhi, kecuali sebagian atau seluruh komponen atau sebagian dari komponen yang dirancang sesuai ketentuan pada Pasal 23.

22.1.3 Kuat rencana pada penampang dihitung dengan mengalikan kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan ϕ yang telah dijelaskan pada Pasal 21.

22.2 - Asumsi desain untuk kekuatan momen dan aksial

22.2.1 *Kompatibilitas regangan dan kesetimbangan*

22.2.1.1 Kesetimbangan harus tercapai di setiap penampang.

22.2.1.2 Regangan beton dan tulangan nonprategang diasumsikan proporsional dengan jarak dari sumbu netral.

R22.1 - Ruang lingkup

R22.1.1 Ketentuan ini mengatur syarat-syarat kekuatan komponen yang dievaluasi pada penampang kritis.

R22.1.2 Pasal 23 mengatur metode desain pada area tulangan diskontinu, dimana metode berbasis penampang tidak bisa diterapkan.

R22.2 - Asumsi desain untuk kekuatan momen dan aksial

R22.2.1 *Kompatibilitas regangan dan kesetimbangan* - Kekuatan lentur dan aksial komponen yang dihitung dengan standar tertentu harus memenuhi persyaratan berikut ini: 1) kesetimbangan 2) kompatibilitas regangan. Kesetimbangan adalah keseimbangan gaya pada penampang saat menghitung kekuatan nominal. Hubungan antara tegangan dan regangan beton, serta tulangan pada perhitungan kekuatan nominal diasumsikan sesuai dengan 22.2.

R22.2.1.2 Banyak hasil uji menunjukkan bahwa dapat diasumsikan distribusi regangan pada penampang beton bertulang adalah linier (*plane sections remain plane*), bahkan ketika mendekati kekuatan nominal, kecuali untuk komponen yang tercantum pada Pasal 23.

Regangan pada tulangan nonprategang dan beton diasumsikan proporsional

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	terhadap jarak dari sumbu netral. Asumsi ini merupakan prinsip utama dalam menentukan regangan dan tegangan pada tulangan.
22.2.1.3 Regangan pada beton prategang dan pada tulangan dengan lekatan (*bonded*) atau tanpa lekatan (*unbonded*) harus mengikutsertakan regangan yang diakibatkan oleh gaya prategang efektif.	
22.2.1.4 Perubahan regangan pada tulangan prategang dengan lekatan diasumsikan proporsional dengan jarak dari sumbu netral.	**R22.2.1.4** Perubahan regangan pada tulangan prategang dengan lekatan dipengaruhi oleh perubahan regangan yang terjadi pada penampang. Untuk tulangan prategang tanpa lekatan, perubahan regangan dipengaruhi oleh beban eksternal, lokasi tulangan, kondisi batas, dan panjang tulangan. Persamaan pada standar sekarang untuk mengitung f_{ps} pada tendon tanpa lekatan yang tercantum di 20.3.2.4 telah sesuai dengan hasil tes yang ada.
22.2.2 *Asumsi desain untuk beton*	**R22.2.2** *Asumsi desain untuk beton*
22.2.2.1 Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003.	**R22.2.2.1** Hasil pengamatan untuk berbagai pengujian di laboratorium menunjukkan nilai regangan tekan maksimum untuk beton saat hancur bervariasi antara 0,003 hingga lebih dari 0,008 dalam kondisi tertentu. Namun pada umumnya, nilai regangan tekan maksimum yang terjadi pada komponen beton dengan proporsi material dan kekuatan normal berkisar antara 0,003 sampai dengan 0,004 saat mencapai kekuatan nominalnya.
22.2.2.2 Kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan kekuatan lentur dan kuat aksial.	**R22.2.2.2** Nilai kekuatan tarik beton dalam lentur atau modulus hancur (*modulus of rupture*) lebih bervariasi dibandingkan kekuatan tekan beton, dengan perkiraan nilai kekuatan tarik beton antara 10 hingga 15 persen dari kekuatan tekan beton. Kekuatan tarik beton dalam lentur diabaikan dalam perhitungan kekuatan lentur nominal. Namun kekuatan tarik beton adalah sangat penting untuk menghitung nilai retak dan defleksi saat beban layan.
22.2.2.3 Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dinyatakan dengan	**R22.2.2.3** Dalam kondisi regangan tinggi, hubungan tegangan-regangan beton

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
bentuk persegi, trapesium, parabolik atau bentuk lain yang memprediksikan kekuatan yang sesuai dengan hasil tes.	bersifat nonlinier (nilai tegangan tidak proporsional terhadap regangan). Seperti yang tertera di 22.2.2.1, nilai maksimum regangan yang dapat digunakan dalam desain adalah 0,003. Distribusi tegangan tekan aktual pada beton dalam penampang sebenarnya bersifat kompleks dan tidak diketahui secara eksplisit. Riset menunjukkan bahwa properti penting dalam distribusi tegangan beton bisa dihitung menggunakan berbagai macam asumsi bentuk distribusi tegangan beton.
22.2.2.4 Distribusi tegangan persegi beton ekuivalen harus sesuai dengan 22.2.2.4.1 hingga 22.2.2.4.3, dan memenuhi persyaratan 22.2.2.3.	**R22.2.2.4** Dalam desain, santar ini memperbolehkan menggunakan distribusi tegangan tekan persegi ekuivalen beton (blok tegangan).
22.2.2.4.1 Tegangan beton **0,85f_c'** diasumsikan terdistribusi rata terhadap zona tekan ekuivalen yang dibatasi ujung penampang dan garis yang paralel terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak a dari serat tekan terjauh, seperti persamaan berikut: $a = \beta_1 c$ (22.2.2.4.1)	**R22.2.2.4.1** Distribusi blok tegangan tidak menunjukkan zona aktual distribusi tegangan beton pada kekuatan nominal, tetapi menunjukkan kekuatan nominal kombinasi lentur dan aksial yang sesuai dengan hasil pengujian (Mattock et al 1961).
22.2.2.4.2 Jarak dari serat tekan terjauh sampai ke sumbu netral c, diukur secara tegak lurus dari sumbu netral.	
22.2.2.4.3 Nilai β_1 dinyatakan dalam Tabel 22.2.2.4.3.	**R22.2.2.4.3** Nilai β_1 ditentukan secara eksperimental. Batas bawah untuk β_1 ditentukan menggunakan data eksperimen balok dengan kekuatan tekan beton lebih besar dari 55 MPa (Leslie et al. 1976; Karr et al. 1978).

Tabel 22.2.2.4.3 – Nilai β_1 untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

f_c', MPa	β_1	
$17 \le f_c' \le 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \ge 55$	0,65	c)

22.2.3 *Asumsi desain untuk tulangan nonprategang*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
22.2.3.1 Tulangan ulir yang digunakan untuk menahan gaya tarik dan tekan harus memenuhi syarat 20.2.1.	
22.2.3.2 Hubungan tegangan-regangan dan modulus elastisitas untuk tulangan ulir harus memenuhi syarat 20.2.2.1 dan 20.2.2.2.	
22.2.4 *Asumsi desain untuk tulangan prategang*	
22.2.4.1 Untuk komponen dengan tulangan prategang dengan lekatan dihitung menggunakan 20.3.1, tegangan pada kekuatan lentur nominal f_{ps}, dihitung sesuai 20.3.2.3.	
22.2.4.2 Untuk komponen dengan tulangan prategang tanpa lekatan sesuai dengan 20.3.1, f_{ps} dihitung sesuai 20.3.2.4.	
22.2.4.3 Jika panjang tertanam *strand* prategang kurang dari ℓ_d, maka tegangan desain *strand* tidak boleh melebihi nilai yang diberikan di 25.4.8.3, seperti yang dimodifikasi di 25.4.8.1 (b).	
22.3 - Kekuatan lentur	**R22.3 - Kekuatan lentur**
22.3.1 *Umum*	
22.3.1.1 Kekuatan lentur nominal M_n dihitung menggunakan asumsi sesuai dengan 22.2.	
22.3.2 *Komponen beton prategang*	
22.3.2.1 Tulangan ulir yang memenuhi Pasal 20.2.1 dan tulangan prategang boleh diikutsertakan dalam menyumbang gaya tarik dan ikut diperhitungkan dalam kekuatan lentur, dengan nilai tegangan diambil sama dengan f_y.	
22.3.2.2 Tulangan nonprategang lainnya boleh dimasukkan dalam perhitungan kekuatan lentur, apabila analisis kompatibilitas regangan dilakukan dalam menghitung tegangan.	
22.3.3 *Komponen beton komposit*	**R22.3.3** *Komponen beton komposit*
22.3.3.1 Ketentuan 22.3.3 diterapkan untuk komponen yang dicor terpisah namun	**R22.3.3.1** Ruang lingkup Pasal 22 adalah komponen lentur komposit. Untuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tersambung, sehingga seluruh elemen bekerja sebagai satu kesatuan dalam menahan beban.	beberapa kasus pada konstruksi dengan beton cor di tempat, elemen yang dicor secara terpisah dapat didesain sebagai satu kesatuan. Dalam kasus ini, permukaan elemen yang saling tersambung harus didesain agar dapat menyalurkan beban di sepanjang permukaannya. Balok komposit baja-beton tidak dibahas dalam pasal ini. Pengaturan untuk komponen komposit diatur dalam AISC 360 atau SNI 1729.
22.3.3.2 Dalam perhitungan nilai M_n pelat komposit dan balok, diperbolehkan menggunakan seluruh bagian penampang komposit.	
22.3.3.3 Dalam perhitungan M_n pelat komposit dan balok, tidak ada perbedaan antara komponen yang disangga (*shored*) dan tidak disangga (*unshored*).	
22.3.3.4 Dalam perhitungan nilai M_n untuk komponen komposit dimana masing-masing elemen memiliki kekuatan tekan yang berbeda, properti masing-masing elemen harus digunakan dalam desain. Sebagai alternatif, diperbolehkan menggunakan nilai f_c' yang menghasilkan nilai M_n paling kritis.	
22.4 - Kekuatan aksial atau kombinasi kekuatan lentur dan aksial	**R22.4 - Kekuatan aksial atau kombinasi kekuatan lentur dan aksial**
22.4.1 *Umum*	
22.4.1.1 Kekuatan nominal lentur dan aksial dihitung menggunakan asumsi yang diatur di 22.2.	
22.4.2 *Kekuatan tekan aksial maksimum*	**R22.4.2** *Kekuatan tekan aksial maksimum*
22.4.2.1 Kekuatan tekan aksial nominal P_n tidak boleh melebihi $P_{n,max}$ sesuai Tabel 22.4.2.1, dimana nilai P_o dihitung menggunakan Pers. (22.4.2.2) untuk komponen nonprategang dan komponen komposit, serta Pers. (22.4.2.3) untuk komponen prategang.	**R22.4.2.1** Untuk mengantisipasi eksentrisitas insidental, kekuatan tekan aksial desain untuk penampang dalam kondisi tekan murni dibatasi sebesar 80 hingga 85 persen dari kekuatan aksial nominalnya. Nilai persentase ini mendekati kekuatan aksial kolom dengan sengkang persegi (sesuai 22.4.2.4) yang mempunyai rasio eksentrisitas terhadap tinggi penampang sebesar 0,10 dan kekuatan aksial kolom dengan tulangan spiral

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 22.4.2.1 – Kekuatan aksial maksimum

Komponen	Tulangan transversal	$P_{n,max}$	
Nonprategang	Sengkang persegi sesuai 22.4.2.4	$0,80P_o$	a)
	Spiral sesuai 22.4.2.5	$0,85P_o$	b)
Prategang	Sengkang persegi	$0,80P_o$	c)
	Sengkang spiral	$0,85P_o$	d)
Kolom komposit dan kolom beton sesuai Pasal 10	Semua	$0,85P_o$	e)

22.4.2.2 Untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja-beton, nilai P_o dihitung dengan Persamaan:

$$P_o = 0,85 f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \qquad (22.4.2.2)$$

dimana A_{st} adalah luas total tulangan longitudinal nonprategang.

22.4.2.3 Untuk komponen prategang, nilai P_o dihitung dengan persamaan:

$$P_o = 0,85 f_c'(A_g - A_{st} - A_{pd}) + f_y A_{st} - (f_{se} - 0,003E_p)A_{pt} \qquad (22.4.2.3)$$

dimana A_{pt} adalah luas total tulangan prategang, dan A_{pd} adalah luas total penampang selongsong (*duct*), selubung (*sheating*), dan tulangan prategang; nilai f_{se} minimal $0,003E_p$. Untuk tendon pascatarik terinjeksi (*grouted post-tension*), nilai A_{pd} sama dengan A_{pt}.

22.4.2.4 Sengkang persegi untuk pengaku lateral dari tulangan longitudinal pada komponen tekan harus memenuhi ketentuan 10.7.6.2 dan 25.7.2.

22.4.2.5 Sengkang spiral untuk pengaku lateral dari tulangan longitudinal pada

PENJELASAN

(sesuai 22.4.2.5) yang mempunyai rasio eksentrisitas terhadap tinggi penampang sebesar 0,05. Batasan beban aksial ini berlaku untuk elemen tekan pracetak maupun untuk cor di tempat.

R22.4.2.3 Pengaruh prategang pada kekuatan aksial dalam komponen tekan dihitung dalam Pers. (22.4.2.3). Pers. (22.4.2.3) sama dengan Pers. (22.4.2.2) untuk komponen tekan nonprategang. Luas efektif beton yang dibatasi nilai tegangan sebesar $0,85f_c'$ dikurangi A_{pd} sebagai luas terpasang selongsong, selubung, dan tulangan prategang. Reduksi kapasitas kolom karena gaya prategang juga dipertimbangkan. Dalam perhitungan kekuatan nominal, nilai tegangan f_{se} dalam tulangan prategang dikurangi $0,003E_p$, dimana 0,003 diasumsikan sebagai regangan tekan saat komponen mencapai kapasitas aksial.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

komponen tekan harus memenuhi ketentuan 10.7.6.3 dan 25.7.3.

22.4.3 *Kekuatan tarik aksial maksimum*

22.4.3.1 Nilai kekuatan tarik aksial maksimum P_{nt} untuk komponen prategang, komposit, dan nonprategang tidak boleh melebihi nilai $P_{nt,max}$ yang dihitung dengan persamaan:

$$P_{nt,max} = f_y A_{st} + \left(f_{se} + \Delta f_p \right) A_{pt} \quad (22.4.3.1)$$

dimana $(f_{se} + \Delta f_p)$ tidak melebihi nilai f_{py}, sedangkan nilai A_{pt} adalah nol untuk komponen nonprategang.

22.5 - Kekuatan geser satu arah

22.5.1 *Umum*

22.5.1.1 Kekuatan geser satu arah nominal dalam penampang (V_n) dihitung dengan persamaan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (22.5.1.1)$$

R22.5 - Kekuatan geser satu arah

R22.5.1 *Umum*

R22.5.1.1 Pada komponen tanpa sengkang, geser diasumsikan ditahan oleh beton. Sedangkan pada komponen dengan sengkang, sebagian geser ditahan oleh beton dan sisanya ditahan oleh sengkang.

Kekuatan geser yang disumbang oleh beton, V_c diasumsikan sama untuk komponen dengan sengkang maupun tanpa sengkang, dan diambil sebesar gaya geser yang menyebabkan retak miring (*inclined cracking*) (Joint ACI-ASCE Committee 426 1973; MacGregor dan Hanson 1969; Joint ACI-ASCE Committee 326 1962). Setelah terjadi keretakan, parameter V_c adalah kekuatan geser yang disumbang oleh penguncian antar agregat (*aggregate interlock*), aksi dowel dan geser yang disalurkan pada zona tekan.

Kekuatan geser berdasarkan pada tegangan geser rata-rata pada penampang melintang efektif ($b_w d$).

Dalam Pasal 23 diizinkan penggunaan model *strud*-and-*tie* untuk perencanaan geser semua elemen beton struktural dan dapat pula digunakan pada bagian-bagian diskontinu dalam sebuah elemen. Prosedur desain geser juga diizinkan untuk daerah B.

22.5.1.2 Ukuran dimensi untuk desain penampang harus memenuhi Pers. 22.5.1.2:

R22.5.1.2 Batasan dimensi penampang di 22.5.1.2 ditujukan untuk meminimalisasi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
$V_u \le \phi(V_c + 0,066\sqrt{f_c'}b_w d)$ (22.5.1.2)	keruntuhan diagonal tekan dalam beton dan batas perkembangan retak.
22.5.1.3 Untuk komponen nonprategang, nilai V_c dihitung sesuai 22.5.5, 22.5.6, atau 22.5.7.	
22.5.1.4 Untuk komponen prategang, nilai V_c, V_{ci}, dan V_{cw} dihitung sesuai 22.5.8 atau 22.5.9.	
22.5.1.5 Untuk menghitung nilai V_c, V_{ci}, dan V_{cw}. Nilai λ dihitung sesuai 19.2.4.	
22.5.1.6 Nilai V_s dihitung sesuai 22.5.10.	
22.5.1.7 Pengaruh adanya bukaan pada komponen dalam perencanaan harus diperhitungkan saat menghitung nilai V_n.	**R22.5.1.7** Bukaan pada komponen di bagian badan dapat mengurangi kekuatan geser. Efek bukaan pada komponen didiskusikan dalam *Section* 4.7 Joint ACI-ASCE Committee 426 (1973) dan Barney et al. (1977) dan Schlaich et al. (1987). Model *strut-and-tie* yang dibahas pada Pasal 23 dapat digunakan untuk desain komponen dengan bukaan.
22.5.1.8 Pengaruh gaya tarik aksial yang disebabkan karena rangkak dan susut dalam komponen terkekang diperhitungkan dalam menghitung nilai V_c.	
22.5.1.9 Pengaruh tekan lentur miring (*inclined flexural compression*) pada komponen dengan ketebalan bervariasi harus diizinkan untuk diikutsertakan dalam perhitungan V_c.	**R22.5.1.9** Pada komponen dengan tinggi bervariasi, besar kecilnya gaya geser internal pada penampang tergantung dari komponen vertikal pada tegangan lentur miring (*inclined flexural stresses*).
22.5.2 *Asumsi geometric*	**R22.5.2** *Asumsi geometric*
22.5.2.1 Untuk perhitungan nilai V_c dan V_s dalam komponen prategang, nilai d diukur mulai dari jarak serat tekan terjauh ke sentroid (*centroid*) prategang dan tulangan longitudinal nonprategang, tapi tidak boleh diambil kurang dari $0,8h$.	**R22.5.2.1** Meskipun nilai d bervariasi pada tiap bentang balok prategang, studi dari MacGregor and Hanson 1969 menunjukkan bahwa untuk komponen prategang, nilai d kurang dari $0,8h$. Balok pada studi tersebut memiliki beberapa tulangan prategang lurus atau tulangan longitudinal di bagian bawah penampang dan memiliki sengkang yang mengikat tulangan longitudinal.
22.5.2.2 Untuk perhitungan nilai V_c dan V_s dalam penampang lingkaran, nilai d sama	**R22.5.2.2** Uji geser komponen dengan penampang lingkaran mengindikasikan bahwa luas efektif dapat dianggap sebagai

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dengan 0,8 diameter, dan nilai b_w sama dengan diameter penampang.	luas brutto penampang atau luas persegi ekuivalen (Joint ACI-ASCE Committee 426 1973; Faradji and Diaz de Cossio 1965; Khalifa and Collins 1981). Meskipun tulangan transversal pada penampang lingkaran mungkin tidak terdapat kaki lurus, hasil pengujian mengindikasikan bahwa Pers. (22.5.10.5.3) memberikan hasil yang aman apabila nilai d diambil dari definisi yang terdapat dalam 22.5.2.2 (Faradji and Diaz de Cossio 1965; Khalifa and Collins 1981).
22.5.3 *Batas kekuatan material*	**R22.5.3** *Batas kekuatan material*
22.5.3.1 Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan untuk menghitung nilai V_c, V_{ci}, dan V_{cw} dalam geser satu arah tidak boleh melebihi 8,3 MPa kecuali yang diperbolehkan dalam 22.5.3.2.	**R22.5.3.1** Karena kurangnya data pengujian dan pengalaman praktis untuk beton berkekuatan lebih dari 70 MPa, ditetapkan maksimum 8,3 MPa untuk nilai $\sqrt{f_c'}$ dalam menghitung kekuatan geser komponen. Pengecualian untuk batas ini diperbolehkan pada balok pelat berusuk jika tulangan transversal memenuhi 22.5.3.2.
22.5.3.2 Nilai $\sqrt{f_c'}$ lebih dari 8,3 MPa diperbolehkan untuk menghitung V_c, V_{ci}, dan V_{cw} untuk balok prategang maupun balok beton bertulang dan balok pelat berusuk dengan tulangan badan minimum memenuhi 9.6.3.3 atau 9.6.4.2.	**R22.5.3.2** Berdasarkan pengujian balok Mphonde and Frantz (1984), Elzanaty et al. (1986), Roller and Russell (1990), Johnson and Ramirez (1989), dan Oczebe et al. (1999), penambahan tulangan transversal minimum dibutuhkan untuk untuk beton mutu tinggi. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan kapasitas geser cadangan bila terjadi peningkatan f_c' pada balok dengan penulangan transversal yang menghasilkan tegangan geser efektif sebesar 0,35 MPa. Penulangan transversal minimum akan mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan f_c'. Bila tulangan transversal minimum ini terpasang maka penurunan kapasitas geser tersebut akan terimbangi.
22.5.3.3 f_y dan f_{yt} yang digunakan untuk menghitung V_s tidak boleh melebihi batas pada 20.2.2.4.	**R22.5.3.3** Batas atas 420 MPa pada nilai f_y dan f_{yt} digunakan dalam desain dimaksudkan untuk mengontrol lebar retak miring (*diagonal crack width*).
22.5.4 *Komponen beton komposit*	**R22.5.4** *Komponen beton komposit*
22.5.4.1 Bagian ini diterapkan pada komponen yang dicor terpisah tetapi	**R22.5.4.1** Ruang lingkup Pasal 22 ini termasuk komponen komposit. Pada beberapa kasus dengan beton cor di

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tersambung, sehingga semua elemen menerima beban sebagai satu kesatuan.	tempat, penempatan elemen yang berbeda didesain sebagai satu unit. Dalam kasus ini, permukaan elemen didesain agar beban di transfer pada semua permukaan. Balok komposit baja-beton tidak dibahas dalam pasal ini. Ketentuan untuk desain komponen komposit dibahas dalam AISC 360 atau SNI 1729.
22.5.4.2 Untuk perhitungan V_n pada komponen komposit, tidak dibedakan antara beton yang disangga (*shored*) dan tidak disangga (*unshored*).	
22.5.4.3 Untuk perhitungan V_n pada komponen komposit dimana kekuatan tekan yang disyaratkan, berat jenis, atau properti lainnya dari untuk elemen yang berbeda, maka properti dari tiap elemen harus digunakan dalam desain. Sebagai alternatif, diiiznkan menggunakan properti elemen yang menghasilkan nilai V_n paling kritis.	
22.5.4.4 Jika semua komponen komposit diasumsikan menahan geser vertikal, diperbolehkan menggunakan V_c dengan syarat komponen dicor secara monolit sepanjang bentang penampang dengan bentuk penampang yang sama.	
22.5.4.5 Jika seluruh komponen komposit diasumsikan menahan geser vertikal, maka diperbolehkan menggunakan V_s pada komponen yang dicor secara monolit dengan bentuk penampang yang sama, apabila tulangan geser diangkur sepenuhnya pada elemen yang saling berhubungan sesuai 25.7.	
22.5.5 *Nilai V_c untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial*	**R22.5.5** *Nilai V_c untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial*
22.5.5.1 Untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial, V_c dihitung dengan persamaan: $V_c = 0{,}17\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w d$ (22.5.5.1) perhitungan yang lebih detail diberikan pada Tabel 22.5.5.1:	**R22.5.5.1** Persamaan a) pada Tabel 22.5.5.1 mengandung tiga variabel $\lambda\sqrt{f_c'}$ sebagai kekuatan tarik beton, ρ_w dan $V_u d / M_u$, yang mempengaruhi kekuatan geser (Joint ACI-ASCE Committee 326 1962). Hasil pengujian (Joint ACI-ASCE Committee 326 1962) mengindikasikan bahwa kekuatan geser berkurang ketika tinggi komponen bertambah.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 22.5.5.1 – Metode detail untuk menghitung V_c

V_c		
Paling kecil di antara a), b), dan c):	$\left[0{,}16\lambda\sqrt{f_c'}+17\rho_w\frac{V_u d}{M_u}\right]b_w d$[1]	a)
	$\left[0{,}16\lambda\sqrt{f_c'}+17\rho_w\right]b_w d$	b)
	$0{,}29\lambda\sqrt{f_c'}b_w d$	c)

[1] M_u dan V_u terjadi secara serentak pada penampang.

22.5.6 *Nilai V_c untuk komponen nonprategang dengan gaya* aksial tekan

22.5.6.1 Untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tekan, V_c dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0{,}17\left(1+\frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \qquad (22.5.6.1)$$

Kecuali terdapat perhitungan yang lebih detail yang dilakukan sesuai Tabel 22.5.6.1, dimana N_u bernilai positif untuk tekan.

Tabel 22.5.6.1 – Metode detail untuk menghitung V_c untuk komponen nonprategang yang menerima beban tekan aksial

V_c		
Nilai terkecil dari a) dan b):	$\left[0{,}16\lambda\sqrt{f_c'}+17\rho_w\frac{V_u d}{M_u - N_u\frac{(4h-d)}{8}}\right]b_w d$ [1] Persamaan tidak berlaku jika $M_u - N_u\frac{(4h-d)}{8}\le 0$	a)
	$0{,}29\lambda\sqrt{f_c'}b_w d\sqrt{1+\frac{0{,}29N_u}{A_g}}$	b)

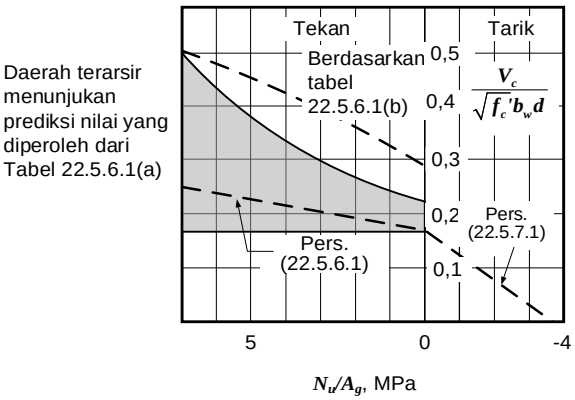
[1] M_u dan V_u terjadi secara serentak pada penampang

PENJELASAN

Persamaan b) pada Tabel 22.5.5.1 membatasi nilai V_c di dekat titik belok (*inflection point*). Pada desain umumnya, diperbolehkan mengasumsikan bahwa ekspresi kedua dalam persamaan a) dan b) pada Tabel 22.5.5.1 sama dengan $0{,}01\lambda\sqrt{f_c'}$ dan menggunakan V_c sama dengan $0{,}17\lambda\sqrt{f_c'}b_w d$ sesuai yang diizinkan dalam Pers. (22.5.5.1).

R22.5.6 *Nilai V_c untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tekan*

R22.5.6.1 Pada persamaan (a) dan (b) pada Tabel 22.5.6.1, untuk komponen yang menerima gaya tekan aksial, geser, dan momen, diturunkan dari laporan Joint ACI-ASCE Committee 329 (1962). Nilai V_c untuk komponen yang menerima beban geser dan aksial perhitungan lebih detail diberikan pada Tabel 22.5.6.1, dimana N_u dianggap positif untuk tekan.

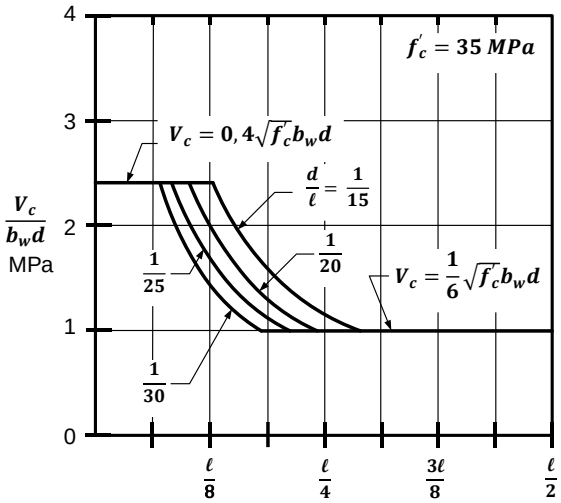
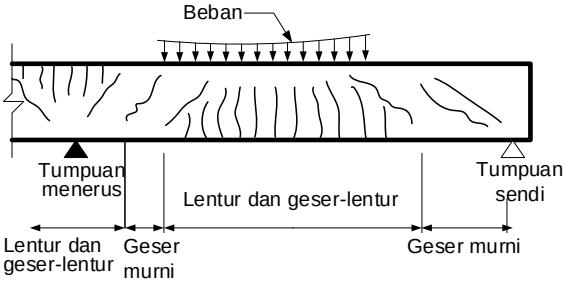


Gambar R22.5.6.1 – Perbandingan persamaan kekuatan geser dari komponen yang menerima beban aksial

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
22.5.7 *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen nonprategang dengan aksial tarik signifikan*	**R22.5.7** *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen nonprategang dengan aksial tarik signifikan*
22.5.7.1 Untuk komponen nonprategang dengan aksial tarik signifikan, V_c dihitung dengan persamaan: $V_c = 0{,}17\left(1+\frac{N_u}{3{,}5A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w d$ (22.5.7.1) dimana N_u bernilai negatif untuk tarik, dan V_c tidak boleh kurang dari nol.	**R22.5.7.1** Istilah "signifikan" digunakan untuk memutuskan apakah aksial tarik perlu diperhitungkan. Gaya tarik aksial sering terjadi akibat perubahan volume, namun pengaruhnya tidak sampai mengurangi kinerja struktur apabila disediakan expansion joint yang cukup dan struktur memenuhi jumlah tulangan minimum. Apabila nilai dari gaya tarik aksial tidak diketahui secara pasti, maka disarankan untuk mendesain tulangan geser menahan seluruh gaya geser.
22.5.8 *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen prategang*	**R22.5.8** *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen prategang*
22.5.8.1 Metode ini dapat diterapkan pada perhitungan V_c untuk komponen pascatarik (*post-tension*) dan pratarik (*pre-tension*) pada daerah dimana gaya efektif pada tulangan prategang ditransfer penuh ke beton. Untuk daerah pada komponen pratarik dimana gaya prategang efektif tidak ditransfer penuh ke beton, nilai V_c dihitung menggunakan Pers. (22.5.9).	
22.5.8.2 Untuk komponen lentur prategang dengan kondisi $A_{ps} f_{se} \geq 0{,}4\left(A_{ps} f_{pu} + A_s f_y\right)$, V_c dihitung sesuai Tabel 22.5.8.2, dengan nilai V_c tidak kurang dari Pers. (22.5.5.1). Sebagai alternatif, diperbolehkan menghitung V_c sesuai 22.5.8.3. **Tabel 22.5.8.2 – Metode Pendekatan untuk menghitung V_c** V_c | | Nilai terkecil dari a), b), dan c): | $\left[0{,}05\lambda\sqrt{f_c'}+4{,}8\frac{V_u d_p}{M_u}\right]b_w d$ [1] | a) $\left[0{,}05\lambda\sqrt{f_c'}+4{,}8\right]b_w d$ | b) $0{,}42\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w d$ | c)	**R22.5.8.2** Pasal ini mengatur cara menghitung V_c untuk balok prategang (MacGregor and Hanson 1969). Pasal ini berlaku hanya pada balok tulangan prategang, atau komponen dengan kombinasi tulangan prategang dan nonprategang. Persamaan a) pada Tabel 22.5.8.2 sesuai jika diterapkan pada komponen yang menerima beban merata (*uniform*). Dalam menerapkan persamaan a) pada Tabel 22.5.8.2 untuk komponen yang menerima beban merata, Pers. (R22.5.8.2) bisa digunakan: $\frac{V_u d_p}{M_u} = \frac{d_p\left(\ell - 2x\right)}{x\left(\ell - x\right)}$ (R22.5.8.2) dimana ℓ adalah panjang bentang, dan x adalah jarak dari penampang ke tumpuan. Untuk beton dengan f_c' sama dengan 35 MPa, nilai V_c bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar R22.5.8.2. Detail

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	perhitungan untuk persamaan ini terdapat pada ASCE Joint Committee (1940).
	
	Gambar R22.5.8.2 – Penerapan Tabel 22.5.8.2 terhadap komponen prategang yang menerima beban merata dengan f_c'= 35 Mpa
22.5.8.3 Untuk komponen prategang, nilai V_c diperbolehkan diambil yang terkecil dari V_{ci} yang dihitung sesuai 22.5.8.3.1 dan V_{cw} yang dihitung sesuai 22.5.8.3.2 atau 22.5.8.3.3.	**R22.5.8.3** Terdapat dua jenis retak miring yang terjadi di balok: retak geser badan (*web-shear cracking*) dan retak geser lentur (*flexure-shear cracking).* Kedua jenis retak miring ini diilustrasikan pada Gambar 22.5.8.3. Retak geser badan bermula dari titik interior pada komponen saat tegangan tarik melebihi kekuatan tarik beton. Retak geser lentur bermula dari retak lentur. Ketika retak letur terjadi, tegangan geser pada beton akan meningkat. Retak geser lentur terjadi ketika kombinasi geser dan tegangan lentur tarik melebihi kekuatan tarik beton. Nilai kekuatan geser nominal beton V_c diambil dari nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw}. Turunan Pers. (22.5.8.3.1a) dan Pers. (22.5.8.3.2) dirangkum di ACI 318-65.
	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

22.5.8.3.1. Nilai kekuatan lentur-geser V_{ci} harus diambil yang terbesar dari a) dan b):

a) $$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f_c'}b_w d_p + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{\max}}$$ (22.5.8.3.1a)

b) $$V_{ci} = 0,14\lambda\sqrt{f_c'}b_w d$$ (22.5.8.3.1b)

dimana nilai d_p tidak kurang dari $0,80h$, nilai dari V_i dan M_{max} dihitung dari kombinasi beban yang menyebabkan momen terfaktor maksimum pada penampang, M_{cre} dihitung menggunakan persamaan:

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t}\right)\left(0,5\lambda\sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d\right)$$ (22.5.8.3.1c)

PENJELASAN

Gambar R22.5.8.3 – Jenis retak pada balok

R22.5.8.3.1 Dalam menurunkan Pers. (22.5.8.3.1a), diasumsikan bahwa V_{ci} adalah total gaya geser yang menyebabkan retak lentur pada penampang dengan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}}$$ (R22.5.8.3.1a)

ditambah peningkatan geser yang dibutuhkan untuk merubah retak lentur menjadi retak lentur geser. Beban eksternal terfaktor dengan nilai V_i dan M_{max} sudah ditentukan, termasuk beban mati dan beban hidup. Dalam menghitung M_{cre} untuk substitusi pada Pers. (22.5.8.3.1a), I dan y_t adalah properti penampang yang menerima beban eksternal terfaktor.

Untuk komponen komposit, dimana sebagian beban mati ditahan oleh sebagian penampang, properti penampang digunakan untuk menghitung f_d. Geser karena beban mati V_d, dan geser karena beban lain V_i, dipisahkan dalam perhitungan ini. V_d dianggap sebagai gaya geser total karena adanya beban mati tidak terfaktor pada penampang, ditambah beban mati tidak terfaktor pada komponen komposit. Rumus V_i dan M_{max} adalah sebagai berikut:

$$V_i = V_u - V_d$$ (R22.5.8.3.1b)

$$M_{\max} = M_u - M_d$$ (R22.5.8.3.1c)

dimana V_u dan M_u adalah geser dan momen terfaktor karena beban terfaktor, dan M_d adalah momen karena beban mati tidak terfaktor (momen yang terjadi bersamaan dengan f_d).

Untuk komponen non komposit, balok dengan beban merata, semua bagian penampang menahan geser, serta diagram geser karena beban mati dan hidup adalah sama. Dalam kasus ini, Pers. (22.5.8.3.1a) dan Pers. (22.5.8.3.1c) disederhanakan menjadi

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f_c'}b_w d + \frac{V_u M_{ct}}{M_u}$ (R22.5.8.3.1d) dimana $M_{ct} = \left(\frac{I}{y_t}\right)\left(0,5\lambda\sqrt{f_c'} + f_{pe}\right)$ (R22.5.8.3.1e) Momen retak (M_{ct}) dalam dua persamaan sebelumnya dianggap sebagai momen total, termasuk momen karena beban mati, yang menyebabkan retak pada serat tarik terjauh. Ini tidak sama dengan M_{cre} pada Pers. (22.5.8.3.1a) dimana momen retak disebabkan oleh semua beban kecuali beban mati. Pada Pers. (22.5.8.3.1a) geser karena beban mati ditambahkan secara terpisah. M_u adalah momen terfaktor balok pada penampang yang ditinaju, dan V_u adalah geser terfaktor yang terjadi bersamaan dengan M_u. Karena properti penampang yang sama berlaku untuk tegangan yang disebabkan oleh beban mati dan beban hidup, tegangan dan geser yang disebabkan oleh beban mati tidak perlu dihitung secara terpisah. M_{ct} adalah perubahan tegangan total dari prategang efektif menjadi tarik dari persamaan $0,5\lambda\sqrt{f_c'}$ yang diasumsikan menyebabkan retak lentur.
22.5.8.3.2 Kekuatan geser badan (V_{cw}) dihitung dengan: $V_{cw} = \left(0,29\lambda\sqrt{f_c'} + 0,3 f_{pc}\right)b_w d_p + V_p$ (22.5.8.3.2) dimana nilai d_p tidak boeh kurang dari $0,80h$ dan V_p adalah komponen vertikal pada gaya prategang efektif.	**R22.5.8.3.2** Pers. (22.5.8.3.2) berdasarkan asumsi bahwa retak geser badan terjadi pada geser yang menyebabkan tegangan tarik utama dengan perkiraan $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ pada sumbu tengah penampang. V_p dihitung dari gaya prategang efektif tanpa faktor beban.
22.5.8.3.3 Sebagai alternatif 22.5.8.3.2, gaya geser V_{cw} dapat dihitung untuk memikul beban mati ditambah beban hidup yang menghasilkan tegangan tarik utama sebesar $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ pada lokasi a) atau b): a) Ketika sumbu sentroid (*centroidal axis*) penampang prategang terletak di badan,	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
maka tegangan tarik utama harus dihitung di sumbu sentroid b) Ketika sumbu sentroid (*centroidal axis*) penampang prategang terletak di sayap, maka tegangan tarik utama harus dihitung di titik potong antara sayap dan badan	
22.5.8.3.4 Pada komponen komposit, tegangan tarik utama pada 22.5.8.3.3 dihitung menggunakan penampang yang menahan beban hidup.	
22.5.9 *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen pratarik pada bagian dengan gaya prategang tereduksi*	**R22.5.9** *Nilai* $\mathbf{V_c}$ *untuk komponen pratarik pada bagian dengan gaya prategang tereduksi* – Efek dari turunnya gaya prategang di dekat ujung balok pratarik pada kekuatan geser harus diperhitungkan. Pasal 22.5.9.2 dan 22.5.9.3 menjelaskan mengenai menurunnya kekuatan geser pada penampang dalam panjang transfer tulangan prategang ketika lekatan tulangan prategang sampai ke ujung komponen. Pasal 22.5.9.4 dan 22.5.9.5 menjelaskan mengenai menurunnya kekuatan geser pada penampang ketika sebagian tulangan prategang tidak melekat pada beton, atau dalam panjang transfer dari tulangan prategang ketika lekatan tulangan prategang tidak sampai ke ujung komponen.
22.5.9.1 Ketika menghitung V_c, panjang transfer tulangan prategang (ℓ_{tr}) diasumsikan $\mathbf{50}d_b$ untuk *strand* dan $\mathbf{100}d_b$ untuk kawat.	
22.5.9.2 Jika panjang lekatan *strand* sampai ke ujung komponen, maka gaya prategang efektif diasumsikan bervariasi dari nol pada ujung tulangan prategang sampai maksimum pada jarak ℓ_{tr} dari ujung tulangan prategang.	
22.5.9.3 Pada bagian dengan gaya prategang efektif tereduksi pada 22.5.9.2, V_c dihitung sesuai ketentuan a) hingga c): a) Gaya prategang efektif tereduksi digunakan untuk menentukan penerapan 22.5.8.2. b) Gaya prategang efektif tereduksi digunakan untuk menghitung V_{cw} dalam 22.5.8.3. c) Nilai V_c yang dihitung menggunakan 22.5.8.2 tidak boleh melebihi nilai V_{cw} yang dihitung menggunakan gaya prategang efektif tereduksi.	
22.5.9.4 Jika lekatan *strand* tidak sampai ke ujung komponen, gaya efektif prategang diasumsikan bervariasi antara nol pada titik dimana lekatan dimulai sampai maksimum pada jarak (ℓ_{tr}) dari titik tersebut.	
22.5.9.5 Pada bagian dengan gaya prategang efektif tereduksi pada 22.5.9.4, V_c dihitung sesuai ketentuan a) hingga c):	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Gaya prategang efektif tereduksi digunakan untuk menentukan penerapan 22.5.8.2. b) Gaya prategang efektif tereduksi digunakan untuk menghitung V_c dalam 22.5.8.3. c) Nilai V_c yang dihitung menggunakan 22.5.8.2 tidak boleh melebihi nilai V_{cw} yang dihitung menggunakan gaya prategang efektif tereduksi.	
22.5.10 *Tulangan geser satu arah*	**R22.5.10** *Tulangan geser satu arah*
22.5.10.1 Pada penampang dimana $V_u > \phi V_c$, tulangan transversal harus dipasang dan memenuhi Pers. (22.5.10.1). $V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c$ (22.5.10.1)	
22.5.10.2 Untuk komponen satu arah dengan tulangan transversal, V_s dihitung sesuai 22.5.10.5.	**R22.5.10.2** Ketentuan Pasal 22.5.10.5 berlaku pada semua tipe tulangan transversal, termasuk sengkang, sengkang ikat, sengkang pengekang, ikat silang dan spiral.
22.5.10.3 Untuk komponen satu arah dengan tulangan longitudinal dibengkokan ke atas, V_s dihitung sesuai 22.5.10.6.	
22.5.10.4 Jika lebih dari satu jenis tulangan geser dipakai untuk memperkuat satu bagian komponen yang sama, V_s adalah jumlah V_s dari semua tulangan geser.	
22.5.10.5 *Kekuatan geser satu arah oleh tulangan transversal*	**R22.5.10.5** *Kekuatan geser satu arah oleh tulangan transversal* - Desain tulangan geser berdasarkan analogi rangka batang termodifikasi (*modified truss analogy*). Dalam analogi rangka batang, gaya pada sengkang ikat vertikal ditahan oleh tulangan geser. Namun, hasil riset pada komponen prategang dan nonprategang mengindikasikan bahwa tulangan geser seharusnya didesain dengan tujuan hanya untuk menahan geser yang menyebabkan retak miring, dengan asumsi kemiringan komponen diagonal dalam rangka batang sebesar 45 derajat. Beton diasumsikan berkontribusi pada kapasitas geser melalui tahanan pada zona tekan, penguncian antar agregat (*aggregate interlock*), dan aksi dowel dalam jumlah gaya yang sama dengan yang menyebabkan retak miring.
22.5.10.5.1 Pada komponen prategang dan komponen nonprategang, tulangan geser harus memenuhi ketentuan a), b), atau c): a) Sengkang, sengkang ikat (*tie*), atau sengkang tertutup yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen. b) Tulangan kawat las dengan kawat yang terletak tegak lurus dari sumbu longitudinal komponen c) Tulangan spiral	
22.5.10.5.2 Sengkang miring sudut 45 derajat dari sumbu longitudinal komponen dan memotong bidang retak geser potensial	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
diperbolehkan digunakan sebagai tulangan geser pada komponen nonprategang.	Pers. (22.5.10.5.3), (22.5.10.5.4), dan (22.5.10.6.2a) dianggap sebagai kekuatan geser nominal oleh tulangan geser V_s. Apabila tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen digunakan, luas kebutuhan tulangan geser A_v, dan jarak s, dihitung sebagai berikut
22.5.10.5.3 V_s untuk tulangan geser di ketentuan 22.5.10.5.1 dihitung dengan Pers. (22.5.10.5.3): $V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$ (22.5.10.5.3) dimana s adalah jarak spiral (*pitch*) atau spasi longitudinal dari tulangan geser, dan A_v diberikan pada 22.5.10.5.5 atau 22.5.10.5.6.	$\frac{A_v}{s} = \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi f_{yt} d}$ (R22.5.10.5) Hasil penelitian (Anderson and Ramirez 1989; Leonhardt and Walther 1964) menunjukkan bahwa perilaku geser dari balok lebar dengan tulangan geser dapat meningkat jika spasi transversal dari kaki sengkang pada penampang dikurangi.
22.5.10.5.4 V_s untuk tulangan geser pada 22.5.10.5.2 dihitung dengan persamaan: $V_s = \frac{A_v f_{yt} (\sin\alpha + \cos\alpha) d}{s}$ (22.5.10.5.4) dimana α adalah sudut di antara sengkang miring dan sumbu longitudinal komponen, s diukur secara paralel sampai tulangan longitudinal, A_v diberikan pada 22.5.10.5.5.	**R22.5.10.5.4** Agar efektif, sengkang miring harus dipasang memotong potensial retak geser. Jika sengkang miring berorientasi paralel terhadap potensial retak geser, maka sengkang tidak akan menghasilkan kekuatan geser.
22.5.10.5.5 Untuk setiap sengkang persegi, sengkang, sengkang pengekang (*hoop*), atau ikat silang (*crosstie*). A_v adalah luas efektif semua kaki tulangan atau kawat dengan spasi s.	
22.5.10.5.6 Untuk setiap sengkang lingkaran atau spiral, A_v adalah dua kali luas tulangan atau kawat dengan spasi s.	**R22.5.10.5.6** Meskipun tulangan transversal dalam penampang lingkaran mungkin tidak terdiri dari kaki lurus, hasil pengujian mengindikasikan bahwa Pers. (22.5.10.5.3) tergolong aman jika nilai d diambil dari 22.5.2.2 (Faradji and Diaz de Crossio 1965; Khalifa and Collins 1981).
22.5.10.6 *Kekuatan geser satu arah pada komponen tulangan longitudinal dibengkokan ke atas (bent-up longitudinal bars)*	**R22.5.10.6** *Kekuatan geser satu arah pada komponen tulangan longitudinal dibengkokan ke atas (bent-up longitudinal bars)* - Agar efektif, bagian miring dari komponen tulangan yang dibengkokkan ke atas harus dipasang menyilang terhadap daerah potensial retak geser. Jika komponen tulangan miring berorientasi sejajar terhadap daerah potensial retak
22.5.10.6.1 Bagian tengah tiga perempat dari bagian miring pada komponen tulangan longitudinal yang dibengkokan ke atas boleh dianggap sebagai tulangan geser pada komponen nonprategang jika sudut α	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
antara tulangan longitudinal yang dibengkokan ke atas dan sumbu longitudinal dari komponen struktur minimal sebesar 30 derajat.	geser, maka komponen tulangan tidak akan menghasilkan kekuatan geser.
22.5.10.6.2 Jika tulangan geser terdiri dari satu tulangan atau satu kelompok tulangan paralel dengan luas A_v, yang semuanya dibengkokkan dengan jarak yang sama dari tumpuan, nilai V_s diambil nilai terkecil dari poin a) dan b): a) $V_s = A_v f_y \sin\alpha$ (22.5.10.6.2a) b) $V_{ci} = 0,25\sqrt{f_c'}\,b_w d$ (22.5.10.6.2b) dimana α adalah sudut di antara sengkang miring dan sumbu longitudinal komponen.	
22.5.10.6.3 Jika tulangan geser terdiri dari satu rangkaian tulangan paralel yang dibengkokan ke atas atau kelompok parallel tulangan yang dibengkokan ke atas pada jarak yang berbeda dari tumpuan, V_s dihitung dengan Pers. (22.5.10.5.4).	
22.6 - Kekuatan geser dua arah	**R22.6 - Kekuatan geser dua arah** Kekuatan geser terfaktor dalam komponen dua arah karena transfer momen dan geser dihitung sesuai 8.4.4. Pasal 22.6 memberikan persyaratan untuk menetukan kekuatan geser nominal, baik dengan maupun tanpa tulangan geser dalam bentuk sengkang, *stud* geser berkepala, atau kepala geser (*shearheads*). Kebutuhan dan kekuatan geser terfaktor dihitung dalam bentuk tegangan, diperbolehkan memperhitungkan pengaruh superposisi dari geser langsung atau transfer momen.
22.6.1 *Umum*	**R22.6.1** *Umum*
22.6.1.1 Pasal 22.6.1 hingga 22.6.8 berlaku untuk kekuatan geser nominal komponen dua arah, dengan atau tanpa tulangan geser. Jika penampang baja berbentuk I atau kanal digunakan sebagai kepala geser (*shearhead*), komponen dua arah harus didesain untuk menerima geser sesuai dengan 22.6.9.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
22.6.1.2 Kekuatan geser nominal untuk komponen dua arah tanpa tulangan geser dihitung dengan persamaan: $v_n = v_c$ (22.6.1.2)	
22.6.1.3 Kekuatan geser nominal untuk komponen dua arah dengan tulangan geser selain kepala geser (*shearhead*) dihitung dengan persamaan: $v_n = v_c + v_s$ (22.6.1.3)	
22.6.1.4 Geser dua arah ditahan oleh penampang dengan tinggi d dan asumsi keliling kritis b_o yang didefinisikan pada 22.6.4.	**R22.6.1.4** Keliling kritis (b_o) didefinisikan pada 22.6.4.
22.6.1.5 Nilai v_c untuk geser dua arah dihitung sesuai 22.6.5. Untuk komponen dua arah dengan tulangan geser, v_c tidak boleh melebihi batas pada 22.6.6.1.	
22.6.1.6 Dalam menghitung v_c, λ harus sesuai dengan 19.2.4.	
22.6.1.7 Untuk komponen dua arah dengan sengkang kaki tunggal atau kaki majemuk, v_s dihitung sesuai 22.6.7.	
22.6.1.8 Untuk komponen dua arah dengan tulangan *stud* geser berkepala (*headed shear stud*), v_s dihitung sesuai 22.6.8.	
22.6.2 *Tinggi efektif*	
22.6.2.1 Dalam perhitungan v_c dan v_s untuk komponen geser dua arah, d adalah rata-rata tinggi efektif dalam dua arah ortogonal.	
22.6.2.2 Untuk komponen dua arah prategang, nilai d tidak boleh kurang dari $0{,}8h$.	
22.6.3 *Batas kekuatan material*	**R22.6.3** *Batas kekuatan material*
22.6.3.1 Nilai $\sqrt{f_c'}$ dalam perhitungan v_c untuk komponen dua arah tidak boleh melebihi 8,3 MPa.	**R22.6.3.1** Ada beberapa data uji pada kekuatan geser dua arah dari pelat beton berkekuatan tinggi. Sampai dilakukan pengujian lebih jauh terhadap pelat dua arah dengan kekuatan tekan lebih dari 70 MPa, disarankan untuk membatasi nilai

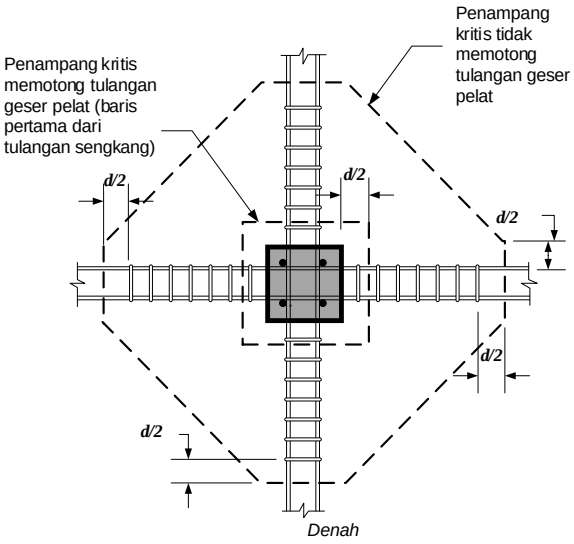
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	$\sqrt{f_c'}$ sebesar 8,3 MPa dalam menghitung kekuatan geser.
22.6.3.2 Nilai f_{yt} yang digunakan untuk menghitung v_s tidak boleh melebihi batas dari 20.2.2.4.	**R22.6.3.2** Batas atas dari nilai f_{yt} sebesar 420 MPa bertujuan untuk mengontrol retak.
22.6.4 *Penampang kritis untuk komponen dua arah*	**R22.6.4** *Penampang kritis untuk komponen dua arah* - Penampang kritis yang didefinisikan pada 22.6.4.1 poin a) untuk geser dalam pelat dan pondasi telapak yang menerima bending dalam dua arah mengikuti keliling ujung daerah yang menerima beban (Joint ACI-ASCE Committee 326 1962). Daerah yang menerima beban untuk pelat dua arah dan pondasi telapak termasuk kolom, beban terpusat, dan daerah reaksi. Penampang kritis yang ideal ditempatkan dengan jarak $d/2$ dari keliling daerah yang menerima beban.
22.6.4.1 Untuk komponen geser dua arah, penampang kritis harus ditempatkan sedimikian rupa agar nilai b_o minimum, tetapi tidak lebih dekat dari $d/2$ antara poin a) dan b): a) Ujung atau pojok kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi b) Perubahan pada pelat atau ketebalan pondasi telapak, seperti ujung kepala kolom (*capital*), panel drop (*drop panels*), atau kap geser (*shear caps*)	Untuk komponen dengan ketebalan sama tanpa tulangan geser, diperoblehkan untuk meninjau geser hanya dari satu penampang. Untuk beton dengan ketebalan dan tulangan geser yang berbeda, diharuskan untuk meninjau geser pada banyak penampang seperti yang tertera di 22.6.4.1 poin a) dan b), dan 22.6.4.2. Untuk kolom di dekat ujung atau pojok pelat, keliling kritis dihitung sampai ujung pelat.
22.6.4.1.1 Untuk kolom persegi, beban terpusat, atau daerah reaksi, penampang kritis untuk komponen dua arah yang sesuai 22.6.4.1 a) dan b) boleh diasumsikan sebagai sisi lurus.	
22.6.4.1.2 Untuk kolom bulat, atau kolom poligon penampang kritis untuk geser dua arah yang sesuai 22.6.4.1 a) dan b) boleh diasumsikan sebagai kolom persegi dengan luas yang sama.	
22.6.4.2 Untuk komponen dua arah dengan tulangan geser berkepala, atau sengkang dengan kaki tunggal atau lebih, penampang kritis dengan keliling b_o yang ditempatkan $d/2$ dari luar garis keliling tulangan geser harus diperhitungkan. Penampang kritis ini berbentuk poligon untuk memperkecil nilai b_o.	**R22.6.4.2** Untuk komponen dua arah dengan tulangan geser *stud* berkepala atau sengkang, diharuskan memeriksa tegangan geser pada penampang kritis yang ditempatkan $d/2$ di luar titik dimana tulangan geser diskontinu. Tegangan geser pada penampang ini tidak boleh melebihi batas yang diberikan poin (b) dan (d) pada Tabel 22.6.6.1. Bentuk penampang kritis ini harus sesuai dengan nilai minimal b_o seperti yang tertera pada Gambar. R22.6.4.2a, b, dan c. Harus diperhatikan bahwa pada gambar ini pelat diasumsikan menggunakan tulangan sengkang. Bentuk penampang kritis mirip seperti pelat dengan tulangan geser berkepala. Penampang kritis persegi yang dideskripsikan pada 22.6.4.1.1. tidak akan

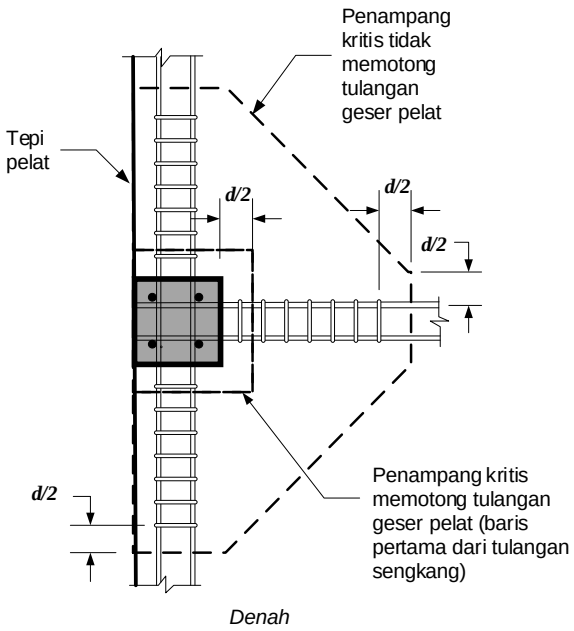
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

menghasilkan nilai b_o yang minimum. Pemeriksaan tambahan penampang kritis dibutuhkan pada jarak $d/2$ diluar titik dimana terdapat tulangan geser yang berbeda dalam ukuran, spasi, atau konfigurasi.

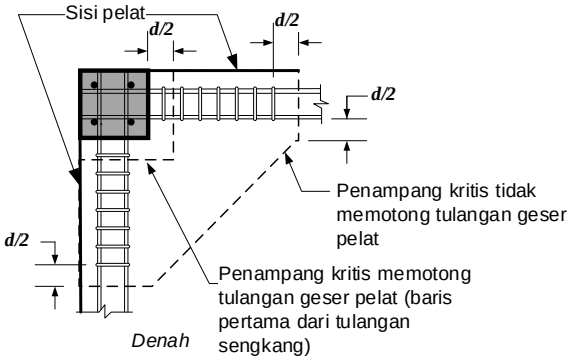
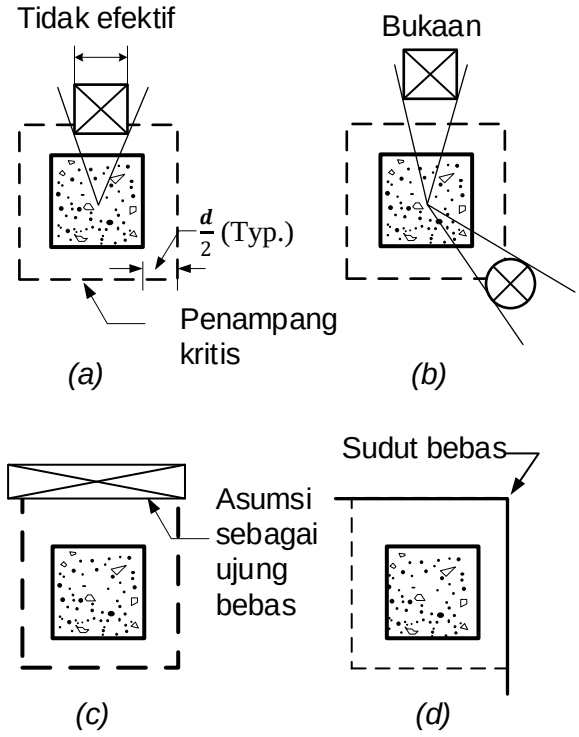


Gambar R22.6.4.2a – Penampang kritis geser dua arah pada pelat dengan tulangan geser pada kolom interior



Gambar R22.6.4.2b – Penampang kritis untuk geser dua arah pada pelat dengan tulangan geser pada kolom tepi

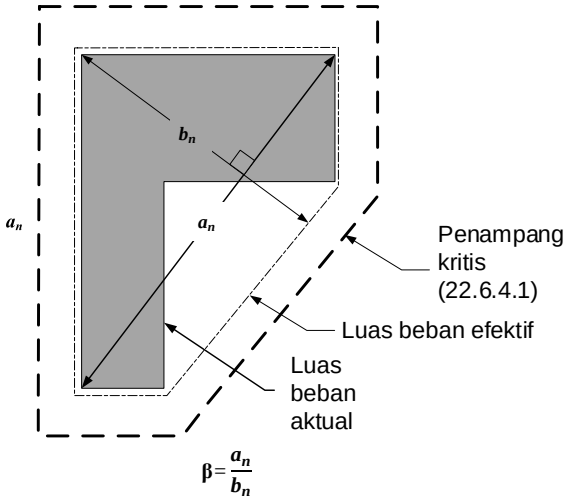
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R22.6.4.2c – Penampang kritis untuk geser dua arah pada pelat dengan tulangan geser pada kolom sudut**
22.6.4.3 Jika bukaan terletak di garis kolom (*column strip*) atau berjarak lebih dekat dari $10h$ dari beban terpusat atau daerah reaksi, sebagian keliling b_o yang tertutup garis lurus dari titik tengah kolom, beban terpusat atau daerah reaksi dan tangen sampai batas bukaan dianggap tidak efektif.	**R22.6.4.3** Ketentuan untuk desain bukaan di pelat (dan pondasi telapak) dikembangkan dalam Joint ACI-ASCE Committee 326 (1962). Lokasi bagian efektif penampang kritis di dekat bukaan tipikal dan ujung bebas digambarkan sebagai garis putus-putus dalam Gambar R22.6.4.3. Riset (Joint ASCE-ASCE Committee 426 1974) mengkonfirmasi bahwa pengaturan ini tergolong aman.  **Gambar R22.6.4.3 – Pengaruh bukaan dan sudut bebas (keliling efektif**

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	digambarkan dengan garis putus-putus)
22.6.5 *Kekuatan geser beton dua arah*	**R22.6.5** *Kekuatan geser beton dua arah*
22.6.5.1 Untuk komponen dua arah nonprategang, v_c dihitung sesuai 22.6.5.2. Untuk komponen dua arah prategang, v_c dihitung sesuai a) atau b): a) 22.6.5.2 b) 22.6.5.5, jika 22.6.5.4 dipenuhi	
22.6.5.2 Nilai v_c dihitung sesuai Tabel 22.6.5.2. **Tabel 22.6.5.2 – Perhitungan v_c untuk geser dua arah** v_c | | | Nilai terkecil dari a), b), dan c): | $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ | a) | $0,17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$ | b) | $0,083\left(2+\frac{a_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$ | c) **Catatan:** β adalah rasio perbandingan sisi panjang dan sisi pendek kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi dan a_s diberikan pada 22.6.5.3.	**R22.6.5.2** Untuk kolom persegi, nilai tegangan terkait kekuatan geser dua arah nominal pada pelat yang menerima lentur (*bending*) dua arah dibatasi sebesar $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$. Namun, hasil pengujian (*Joint* ACI-ASCE *Committee* 426 1974) mengindikasikan bahwa nilai $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ kurang aman jika rasio **β** antara sisi panjang dan pendek pada kolom persegi atau daerah yang menerima beban lebih dari 2,0. Dalam kasus ini, tegangan geser aktual penampang kritis pada kegagalan geser *punching* (*punching shear failure*) bervariasi dari nilai maksimum sekitar $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ di sekitar sudut kolom atau daerah pembebanan, sampai nilai minimal $0,17\lambda\sqrt{f_c'}$ atau kurang dari sisi panjang di antara dua ujung penampang. Pengujian lain (Vanderbilt 1972) mengindikasikan bahwa nilai v_c berkurang seiring dengan meningkatnya rasio b_o/d. Poin b) dan c) pada Tabel 22.6.5.2 dikembangkan untuk mengantisipasi pengaruh kedua hasil uji tersebut. Untuk kolom berbentuk selain bentuk persegi, **β** diambil dari rasio dimensi rata-rata terbesar dari daerah pembebanan efektif, sampai dimensi tegak lurus terbesar dari daerah pembebanan efektif seperti yang digambarkan dengan luas reaksi berbentuk pada Gambar R22.6.5.2. Daerah pembebanan efektif adalah daerah yang menutup total daerah pembebanan aktual, dimana kelilingnya minimum.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R22.6.5.2 – Nilai β dari daerah pembebanan nonpersegi panjang**
22.6.5.3 Nilai α_s adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, dan 20 untuk kolom sudut.	**R22.6.5.3** Istilah “kolom interior”, “kolom sudut”, dan “kolom tepi” pada pasal ini merujuk pada penampang kritis dengan pelat menerus di empat, tiga, dan dua sisi.
22.6.5.4 Untuk komponen dua arah prategang, diperbolehkan menghitung v_c menggunakan 22.6.5.5, jika ketentuan pada poin a) hingga c) dipenuhi: a) Tulangan dengan lekatan memenuhi 8.6.2.3 dan 8.7.5.3 b) Tidak ada bagian penampang kolom yang dengan jarak kurang dari empat kali ketebalan pelat h c) Nilai prategang efektif (f_{pc}) di setiap arah tidak boleh kurang dari 0,9 MPa	**R22.6.5.4** Untuk komponen dua arah prategang, bentuk modifikasi poin b) dan c) dinyatakan secara jelas pada Tabel 22.6.5.2. Riset (ACI 423.3R) mengindikasikan bahwa perhitungan kekuatan geser komponen dua arah prategang di sekitar kolom interior berdasarkan 22.6.5.5 adalah aman, dimana v_c bersamaan dengan mulainya kegagalan tekan diagonal penampang kritis yang dijelaskan pada 22.6.4.1. Moda keruntuhannya berbeda dengan keruntuhan geser *punching* di sekitar daerah terbebani dari pelat nonprategang yang dihitung dengan poin b) pada Tabel 22.6.5.2. Konsekuensinya, pernyataan pada 22.6.5.5 berbeda untuk pelat nonprategang. Nilai $\sqrt{f'_c}$ dan f_{pc} dibatasi karena data pengujian yang terbatas diluar batas yang ditentukan. Ketika menghitung f_{pc}, kehilangan prategang karena kekangan pelat oleh dinding geser (*shear walls*) dan elemen struktur lain harus diperhitungkan.
22.6.5.5 Untuk komponen prategang dua arah sesuai 22.6.5.4, v_c diambil nilai terkecil dari poin (a) dan (b):	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

a) $V_c = 0,29\lambda\sqrt{f_c'} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d}$

(22.6.5.5a)

b)

$$V_c = 0,083\left(1,5 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f_c'} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d}$$

(22.6.5.5b)

dimana nilai α_s diberikan di 22.6.5.3, nilai f_{pc} untuk persamaan ini adalah rata-rata f_{pc} di dua arah dan tidak boleh melebihi 3,5 MPa; V_p adalah komponen vertikal dari semua gaya prategang efektif pada penampang kritis; dan nilai $\sqrt{f_c'}$ tidak boleh melebihi 5,8 MPa.

22.6.6 *Geser maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser*

22.6.6.1 Untuk komponen dua arah dengan tulangan geser, nilai v_c yang dihitung pada penampang kritis tidak boleh melebihi batas pada Tabel 22.6.6.1.

Tabel 22.6.6.1 – Nilai v_c maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser

Jenis tulangan geser	**Nilai v_c maksimum penampang kritis pada Pasal 22.6.4.1**		**Nilai v_c maksimum penampang kritis pada Pasal 22.6.4.2**	
Sengkang	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	a)	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	b)
Tulangan *stud* geser berkepala	$0,25\lambda\sqrt{f_c'}$	c)	$0,17\lambda\sqrt{f_c'}$	d)

22.6.6.2 Untuk komponen dua arah dengan tulangan geser, tinggi efektif harus dihitung sedemikian rupa agar nilai v_u pada penampang kritis tidak melebihi ketentuan pada Tabel 22.6.6.2.

PENJELASAN

R22.6.6 *Geser maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser* -Penampang kritis untuk komponen dua arah dengan tulangan geser dijelaskan di 22.6.4.1 untuk penampang yang berbatasan dengan kolom, beban terpusat, atau daerah reaksi, dan 22.6.4.2 untuk penampang yang terletak di luar garis keliling sengkang atau tulangan *stud* geser berkepala. Nilai maksimum v_c untuk penampang kritis ini diberikan pada Tabel 22.6.6.1. Nilai pembatas v_u penampang kritis yang dijelaskan pada 22.6.4.1 diberikan di Tabel 22.6.6.2.

Nilai maksimum v_c dan nilai batas v_u di bagian paling dalam penampang kritis (yang dijelaskan di 22.6.4.1) adalah lebih tinggi pada tulangan *stud* geser berkepala dibandingkan pada sengkang (R12.7.7). Tipe tulangan geser tidak berpengaruh pada nilai maksimum v_c pada garis luar keliling tulangan geser penampang kritis di 22.6.4.2.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

Tabel 22.6.6.2 – Nilai v_u maksimum untuk komponen dua arah dengan tulangan geser

Jenis tulangan geser	Nilai v_u maksimum penampang kritis pada 22.6.4.1	
Sengkang	$\phi 0,5\sqrt{f_c'}$	a)
Tulangan *stud* geser berkepala	$\phi 0,66\sqrt{f_c'}$	b)

22.6.7 *Kekuatan geser dua arah oleh sengkang dengan kaki tunggal atau majemuk*

R22.6.7 *Kekuatan geser dua arah oleh sengkang dengan kaki tunggal atau majemuk*

22.6.7.1 Sengkang tunggal atau majemuk yang difabrikasi dari komponen tulangan atau kawat boleh digunakan sebagai tulangan geser dalam pelat dan fondasi telapak selama memenuhi poin a) dan b):

a) d sedikitnya 150 mm
b) d sedikitnya $16d_b$, dimana d_b adalah diameter sengkang

22.6.7.2 Untuk komponen dua arah dengan sengkang, v_s dihitung dengan persamaan berikut:

$$v_s = \frac{A_v f_{yt}}{b_o s} \qquad (22.6.7.2)$$

dimana A_v adalah luas total kaki tulangan pada satu garis keliling yang secara geometris mirip dengan keliling penampang kolom, dan s adalah spasi garis keliling tulangan geser yang tegak lurus dengan muka kolom.

R22.6.7.2 Karena tegangan geser digunakan untuk geser dua arah pada pasal ini, kekuatan geser tulangan transversal adalah rata-rata dari luas keseluruhan penampang kritis.

22.6.8 *Kekuatan geser dua arah oleh tulangan stud geser berkepala*

22.6.8.1 Tulangan *stud* geser berkepala boleh digunakan sebagai tulangan geser pada pelat dan fondasi, jika penempatan dan geometri tulangan *stud* geser berkepala memenuhi 8.7.7.

R22.6.8 *Kekuatan geser dua arah oleh tulangan stud geser berkepala* - Hasil uji (ACI 421.1R) menunjukkan bahwa tulangan *stud* geser berkepala yang diangkur secara mekanis pada bagian atas dan bawah pelat sangat efektif untuk menahan geser pons (*punching shear*). Penampang kritis diluar tulangan geser secara umum diasumsikan mempunyai bentuk poligon (Gambar R22.6.4.2c).

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Persamaan untuk menghitung tegangan geser pada penampang diberikan di ACI 421.1R.
22.6.8.2 Untuk komponen dua arah dengan tulangan *stud* geser berkepala, v_s dihitung dengan: $$v_s = \frac{A_v f_{yt}}{b_o s} \quad (22.6.8.2)$$ dimana A_v adalah luas total kaki tulangan pada satu garis keliling yang secara geometris mirip dengan keliling penampang kolom, dan s adalah spasi garis keliling tulangan geser yang tegak lurus dengan muka kolom.	**R22.6.8.2** Karena tegangan geser digunakan untuk geser dua arah pada pasal ini, kekuatan geser tulangan transversal di rata-rata dari luas keseluruhan penampang kritis.
22.6.8.3 Jika terdapat tulangan geser berkepala, maka A_v/s harus memenuhi persamaan: $$\frac{A_v}{s} \geq 0{,}17\sqrt{f_c'}\,\frac{b_o}{f_{yt}} \quad (22.6.8.3)$$	
22.6.9 *Ketentuan desain komponen dua arah dengan kepala geser*	**R22.6.9** *Ketentuan desain komponen dua arah dengan kepala geser* - Ketentuan desain komponen nonprategang dua arah dengan tulangan kepala geser sebenarnya dikembangkan sebagai gaya geser (Corley and Hawkins 1968). Pendekatan ini dipertahanakan dalam pasal ini.
22.6.9.1 Setiap kepala geser harus terdiri dari baja terfabrikasi yang di las penetrasi penuh menjadi lengan yang sama dengan sudut yang saling tegak lurus. Lengan di kepala geser tidak boleh terputus pada penampang kolom.	**R22.6.9.1** Berdasarkan data hasil uji (Corley and Hawkins 1968), dijelaskan prosedur desain untuk tulangan kepala geser yang terdiri dari bentuk struktur baja. Untuk sambungan kolom yang mentransfer momen, desain kepala geser diberikan pada 22.6.9.11 dan 22.6.9.12. Desain penulangan kepala geser untuk sambungan yang mentransfer geser karena beban gravitasi harus mempertimbangkan faktor berikut ini. Pertama, kekuatan lentur minimum harus dipertimbangkan untuk memastikan kekuatan geser minimum untuk pelat sudah dicapai sebelum melebihi kekuatan lentur kepala geser. Kedua, kekuatan geser pelat di ujung tulangan kepala geser harus dibatasi. Ketiga, setelah kedua kebutuhan di atas dipenuhi, momen negatif

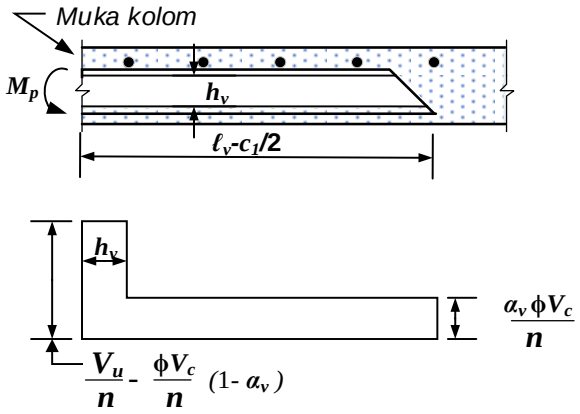
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tulangan pelat bisa direduksi sesuai proporsi kontribusi momen kepala geser.
22.6.9.2 Kepala geser tidak boleh lebih tebal dari 70 kali dari ketebalan baja bagian badan.	
22.6.9.3 Ujung lengan kepala geser boleh dipotong pada sudut minimal 30 derajat terhadap sumbu horizontal jika kekuatan lentur plastis M_p sisa penampang cukup untuk menahan gaya geser pada lengan kepala geser.	
22.6.9.4 Bagian tekan pada baja bagian sayap harus sebesar $0{,}3d$ dari bagian tekan permukaan pelat.	
22.6.9.5 Rasio α_v antara kekakuan lentur lengan kepala geser, dan penampang pelat retak komposit dengan lebar $(c_2 + d)$ minimum 0,15.	
22.6.9.6 Untuk setiap lengan kepala geser, M_p harus memenuhi persamaan: $$M_p \geq \frac{V_u}{2\phi n}\left[h_v + \alpha_v\left(\ell_v - \frac{c_1}{2}\right)\right] \quad (22.6.9.6)$$ dimana ϕ terkait dengan komponen terkontrol tarik, n adalah jumlah lengan kepala geser, dan ℓ_v adalah panjang minimum dari tiap lengan kepala geser yang harus memenuhi 22.6.9.8 dan 22.6.9.10.	**R22.6.9.6** Distribusi geser dengan asumsi yang diidealisasi sepanjang lengan kepala geser di kolom interior ditunjukkan di Gambar R22.6.9.6. Geser sepanjang setiap lengan diambil sebesar $\alpha_v\phi V_c/n$, dimana V_c sama dengan $v_c b_o d$ dan v_c dijelaskan di 22.6.5.2. Geser puncak pada muka kolom diambil sebagai geser total per lengan V_u/n dikurangi geser yang dianggap tertransfer ke kolom oleh daerah tekan pelat beton $\phi(V_c/n)(1-\alpha_v)$. Geser yang dianggap tertransfer ke kolom oleh daerah tekan pelat beton mendekati nol untuk kepala geser yang berat, dan mendekati $\phi(V_c/n)$ untuk kepala geser yang ringan. Pers. (22.6.9.6) kemudian mengikuti asumsi bahwa ϕV_c sekitar setengah dari kekuatan geser terfaktor V_u. Dalam persamaan ini, M_p adalah kekuatan lentur plastis perlu untuk setiap lengan kepala geser untuk memastikan V_u tercapai sebagaimana kekuatan lentur kepala geser tercapai. Kuantitas ℓ_v adalah panjang dari tengah kolom ke titik dimana kepala geser tidak lagi dibutuhkan, dan jarak $c_1/2$ adalah setengah dimensi kolom dalam arah yang ditinjau.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R22.6.9.6 – Gambaran gaya geser ideal pada kepala geser

22.6.9.7 Kekuatan lentur nominal kepala geser yang berkontribusi terhadap setiap jalur kolom pelat oleh kepala geser M_v, harus memenuhi persamaan berikut:

$$M_v \le \frac{\phi \alpha_v V_u}{2n}\left(\ell_v - \frac{c_1}{2}\right) \qquad (22.6.9.7)$$

dimana ϕ terkait komponen struktur terkontrol tarik. Akan tetapi, M_v tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c):

a) 30 persen dari M_u pada setiap lajur kolom pelat
b) Perubahan M_u pada lajur kolom diluar panjang ℓ_v
c) M_p seperti yang diberikan pada 22.6.9.6

R22.6.9.7 Kontribusi kekuatan lentur kepala geser M_v, dihitung secara konservatif menggunakan Pers. (22.6.9.7). Persamaan ini berdasarkan asumsi geser puncak di muka kolom diabaikan, dan ϕV_c adalah kira-kira setengah dari kekuatan geser terfaktor V_u, hal ini sesuai dengan asumsi yang digunakan pada pengembangan Pers. (22.6.9.6).

22.6.9.8 Penampang kritis untuk geser harus tegak lurus terhadap bidang pelat dan memotong tiap lengan kepala geser pada jarak $(3/4)[\ell_v - (c_1/2)]$ dari muka kolom. Penampang kritis ini ditempatkan sedemikian rupa agar b_o minimum, tapi tidak perlu lebih dekat daripada jarak $d/2$ ke tepi kolom tumpuan.

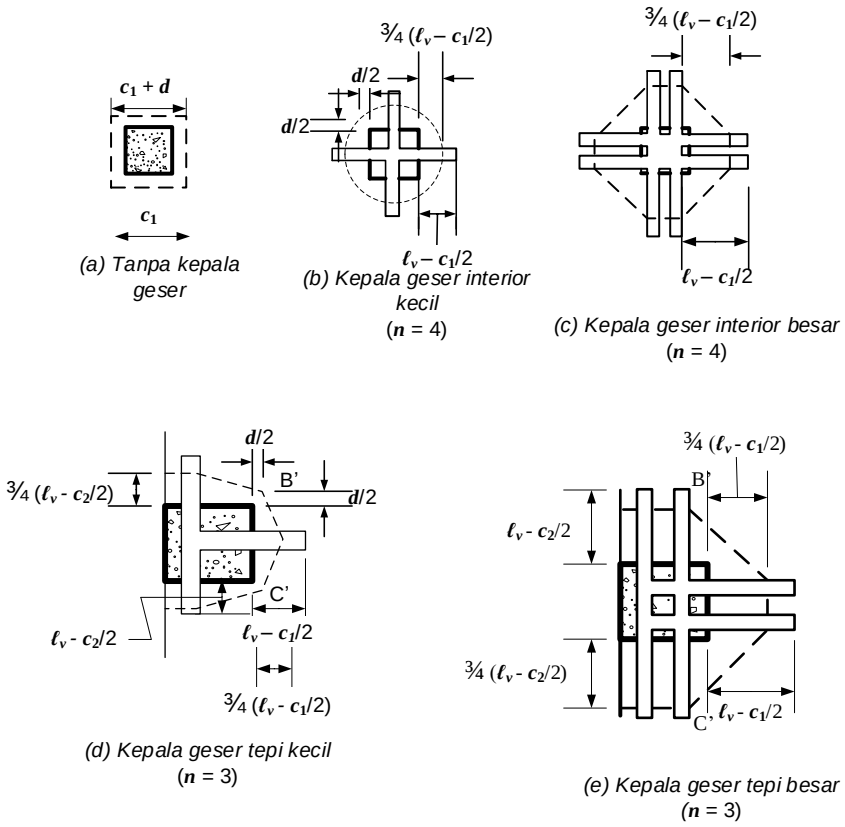
R22.6.9.8 Hasil-hasil pengujian (Corley and Hawkins 1968) mengindikasikan bahwa pelat dengan kepala geser yang kekuatan lentur dengan lengan geser dapat dicapai sesaat sebelum keruntuhan geser pelat, runtuh pada tegangan geser kurang dari $0,33\sqrt{f_c'}$ pada penampang kritis di ujung kepala geser. Untuk pelat dengan kepala geser yang kekuatan lentur dengan lengan geser tidak dapat dicapai sesaat sebelum keruntuhan geser pelat, kekuatan gesernya kembali ke sekitar ekuivalen dengan $0,33\sqrt{f_c'}$. Desain yang aman disarankan karena keterbatasan data uji. Oleh karenanya, kekuatan geser dihitung sebesar $0,33\sqrt{f_c'}$ pada asumsi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**

penampang kritis yang ditempatkan di ujung tulangan kepala geser.

Penampang kritis diambil dari lengan kepala geser sebesar tiga perempat dari jarak $[\ell_v - (c_1/2)]$ dari muka kolom ke ujung kepala geser. Tetapi, asumsi penampang kritis ini tidak perlu diambil lebih dekat daripada jarak $d/2$ ke kolom. Merujuk Gambar R22.6.9.8.



Gambar R22.6.9.8 – Lokasi penampang kritis yang didefinisikan 22.6.9.8

22.6.9.9 Jika bukaan terletak pada garis kolom atau lebih dekat $10h$ dari kolom pada pelat dengan kepala geser, bagian tidak efektif dari b_o harus setengah kali dari yang diberikan pada 2.6.4.3.

22.6.9.10 Tegangan geser terfaktor akibat beban vertikal tidak boleh lebih besar dari $\phi 0,33\sqrt{f_c'}$ pada penampang kritis yang diberikan di 22.6.9.8, dan tidak lebih besar dari $\phi 0,58\sqrt{f_c'}$ pada penampang kritis yang terdekat dengan kolom yang diberikan di 22.6.4.1a).

R22.6.9.10 Jika satu atau kedua batas tegangan geser dalam ketentuan ini terlewati, maka penampang pelat tidak mampu menahan geser terfaktor. Jika tegangan geser terfaktor di penampang kritis pada 22.6.4.1a) melebihi $\phi 0,58\sqrt{f_c'}$, tinggi efektif pelat atau f_c' harus ditingkatkan. Bila tegangan geser terfaktor pada penampang kritis berdasarkan

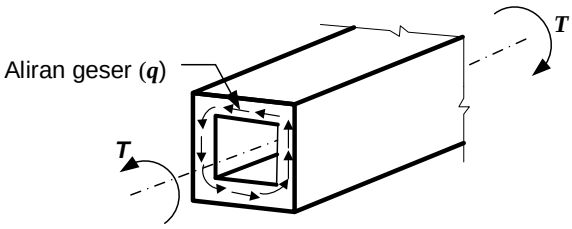
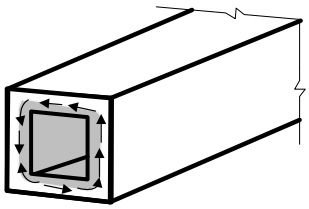
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	22.6.9.8. melebihi $\phi 0,33\sqrt{f_c'}$, tinggi efektif, f_c' atau panjang kepala geser harus ditingkatkan.
22.6.9.11 Bila transfer momen diperhitungkan, kepala geser harus memiliki cukup pengangkuran untuk menyalurkan M_p ke kolom.	**R22.6.9.11** Hasil uji (Hawkins and Corley 1974) mengindikasikan bahwa penampang kritis yang memenuhi 22.6.4.1a) dan 22.6.4.4 tepat digunakan dalam perhitungan tegangan geser yang disebabkan oleh transfer momen bahkan bilamana kepala geser digunakan. Meskipun penampang kritis untuk geser langsung dan geser akibat transfer momen berbeda, namun kedua penampang kritis itu berimpit atau sangat berdekatan di sudut kolom dimana keruntuhan mulai terjadi. Karena kepala geser menarik sebagian besar geser, adalah konservatif untuk mengambil nilai tegangan geser maksimum sebagai jumlah dua komponen (yaitu geser langsung dan geser akibat transfer momen). Ketentuan ini mensyaratkan momen M_p untuk ditransfer ke kolom oleh sambungan kepala geser yang mentransfer momen-momen. Ini bisa dicapai dengan menambahkan tumpuan (*bearing*) di dalam kolom atau dengan memasang angkur mekanis.
22.6.9.12 Bila transfer momen diperhitungkan, jumlah tegangan geser terfaktor akibat beban vertikal pada penampang kritis yang diberikan di 22.6.9.8, dan tegangan geser dari momen terfaktor yang ditransfer oleh eksentrisitas geser yang terjadi di titik tengah (*centroid*) penampang kritis terdekat dari kolom seperti yang tertera pada 22.6.4.1a) tidak boleh melebihi $\phi 0,33\sqrt{f_c'}$.	
22.7 - Kekuatan torsi	**R22.7 - Kekuatan torsi** Desain untuk torsi pada pasal ini berdasarkan analogi rangka batang ruang tabung dinding tipis. Balok yang menerima torsi dianggap sebagai tabung dinding tipis dengan mengabaikan penampang beton inti balok solid seperti yang ditunjukkan di Gambar R22.7(a). Segera setelah balok beton bertulang retak oleh torsi, kekuatan torsi terutama disediakan oleh sengkang tertutup dan tulangan longitudinal yang ditempatkan di dekat permukaan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	komponen struktur. Dalam analogi tabung dinding tipis, kekuatan diasumsikan disediakan oleh kulit luar penampang secara kasar terpusat dalam sengkang tertutup. . Baik penampang berongga maupun solid dianggap sebagai tabung dinding tipis baik sebelum maupun sesudah retak. Di tabung dinding tipis tertutup, hasil perkalian tegangan geser τ dan tebal dinding t di sembarang titik di perimeter tabung diketahui sebagai aliran geser (*shear flow*), $q = \tau t$. Aliran geser q akibat torsi seperti ditunjukkan oleh Gambar 22.7(a), dan terjadi secara konstan pada semua titik di perimeter tabung dan bekerja di tengah ketebalan dinding tabung. Pada sembarang titik sepanjang perimeter tabung tegangan geser akibat torsi adalah $\tau = T/(2A_o t)$ dimana A_o adalah luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser, ditunjukkan terasir pada Gambar R.22.7(b), t adalah tebal dinding pada titik dimana τ dihitung. Untuk komponen struktur berongga dengan dinding menerus, A_o termasuk luas lubang. Kontribusi beton terhadap kekuatan torsi diabaikan. Untuk kombinasi geser dan torsi, kontribusi beton terhadap terhadap kekuatan geser tidak perlu dikurangi. Prosedur desain untuk kekuatan torsi diturunkan dan dibandingkan dengan hasil uji dari MacGregor and Ghoneim (1995) dan Hsu (1997).

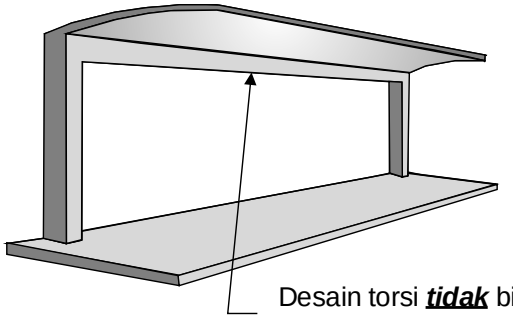
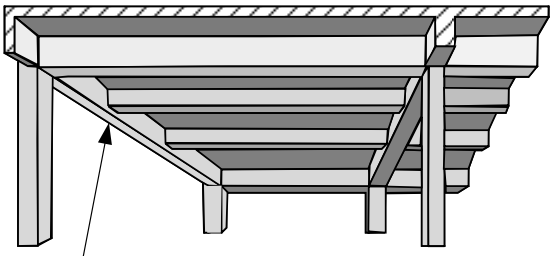
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 *(a) Tabung dinding tipis*  *(b) Luasan yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser* **Gambar 22.7 – (a) *Tabung* dinding tipis; (b) luasan yang dilingkupi oleh lintasan aliran geser**
22.7.1 *Umum*	**R22.7.1** *Umum*
22.7.1.1 Pasal ini harus diterapkan pada komponen struktur jika $T_u \geq \phi T_{th}$, dimana ϕ diberikan pada Pasal 21 dan ambang torsi T_{th} diberikan di 22.7.4. Jika $T_u < \phi T_{th}$ maka diperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh torsi.	**R22.7.11** Momen torsi yang tidak melampaui batas ambang torsi T_{th} tidak akan mengakibatkan penurunan kapasitas lentur maupun geser yang signifikan sehingga dapat diabaikan.
22.7.1.2 Kekuatan nominal torsi dihitung sesuai 22.7.6.	
22.7.1.3 Untuk perhitungan T_{th} dan T_{cr}, λ harus dihitung sesuai 19.2.4.	
22.7.2 *Batas kekuatan material*	**R22.7.2** *Batas kekuatan material*
22.7.2.1 Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan untuk menghitung T_{th} dan T_{cr}, tidak boleh melebihi 8,3 MPa.	**R22.7.2.1** Karena kurangnya data uji dan percobaan pada beton dengan kekuatan tekan lebih dari 70 MPa. Standar ini menerapkan nilai maksimum untuk $\sqrt{f_c'}$ adalah 8,3 MPa untuk menghitung kekuatan torsi.
22.7.2.2 Nilai f_y dan f_{yt} untuk tulangan torsi longitudinal dan transversal tidak boleh melebihi batas di 20.2.2.4.	**R22.7.2.2** Batas atas sebesar 420 MPa untuk nilai f_y dan f_{yt} bertujuan untuk mengontrol lebar retak diagonal.
22.7.3 *Desain torsi terfaktor*	**R22.7.3** *Desain torsi terfaktor* - Dalam desain torsi pada struktur beton bertulang, terdapat dua kondisi yang dapat

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
22.7.3.1 Jika $T_u \geq \phi T_{cr}$ dan T_u dibutuhkan untuk kesetimbangan, komponen harus didesain untuk menahan T_u.	diidentifikasi (Collins and Lampert 1973; Hsu and Burton 1974):
22.7.3.2 Pada struktur statis tak tentu dimana $T_u \geq \phi T_{cr}$ dan reduksi T_u terjadi karena redistribusi gaya internal setelah retak torsi, diperbolehkan untuk mereduksi nilai T_u sampai ϕT_{cr}, dimana retak torsi T_{cr} dihitung sesuai 22.7.5.	a) Momen torsi tidak dapat direduksi dengan redistribusi gaya internal (22.7.3.1). Torsi jenis ini dianggap sebagai torsi kesetimbangan (*equilibrium torsion*) karena momen torsi dibutuhkan agar struktur dalam keseimbangan. Untuk kondisi ini, seperti yang digambarkan pada Gambar R22.7.3(a), tulangan torsi harus disediakan untuk menahan momen torsi desain total. b) Momen torsi bisa direduksi dengan redistribusi gaya internal setelah retak (22.7.3.2) jika torsi terjadi dari komponen struktur terpuntir untuk mempertahankan kompatibilitas deformasi. Torsi jenis ini disebut torsi kompatibilitas. Untuk kondisi ini, seperti yang diilustrasikan pada Gambar R22.7.3(b), kekakuan torsi sebelum retak terkait dengan penampang yang tak retak menurut teori St. Venant. Pada keadaan retak torsi, bagaimanapun, puntir besar terjadi oleh momen torsi yang pada dasarnya bernilai konstan, menghasilkan redistribusi gaya yang besar pada struktur (Collins and Lampert 1973; Hsu and Burton 1974). Momen retak torsi pada kombinasi geser, momen, dan torsi berdasarkan pada tegangan tarik utama sedikit lebih rendah dari $0{,}33\lambda\sqrt{f_c'}$ yang digunakan pada R22.7.5. Jika momen torsi melebihi momen torsi retak (22.7.3.2), momen torsi terfaktor maksimum yang sama dengan momen torsi retak diasumsikan terjadi di penampang kritis di dekat muka tumpuan. Adanya momen torsi terfaktor maksimum bertujuan untuk membatasi lebar retak torsi. Ketentuan 22.7.3.2 berlaku untuk kondisi rangka tipikal dan teratur. Dengan susunan layout yang menyebabkan rotasi torsi yang signifikan pada panjang tertentu komponen struktur, seperti pembebanan momen torsi yang besar yang terjadi di dekat kolom kaku (*stiff column*), atau kolom yang berotasi pada arah berlawanan karena
22.7.3.3 Jika T_u diredistribusi sesuai 22.7.3.2, momen dan geser terfaktor yang digunakan untuk desain komponen struktur berdampingan (*adjoining members*) harus setimbang dengan torsi yang tereduksi.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	menerima beban lain, disarankan untuk melakukan analisis yang lebih detail. Jika momen torsi terfaktor dari analisis elastis berdasarkan pada properti penampang tak retak berada di antara ϕT_{th} dan ϕT_{ch}, tulangan torsi harus didesain untuk menahan momen torsi yang dihitung.
	 Desain torsi ***tidak*** bisa diperperkecil karena redistribusi momen ***tidak*** bisa dilakukan
	Gambar R22.7.3a – Torsi keseimbangan, momen torsi desain yang tidak dapat dikurangi (22.7.3.1).
	 Desain torsi untuk balok sprandel ini dapat dikurangi karena kemungkinan terjadi redistibusi momen
	Gambar R22.7.3b –Torsi kompatibilitas, momen torsi desain yang dapat dikurangi (22.7.3.2)
22.7.4 Ambang batas torsi	**R22.7.4** *Ambang batas torsi* – Ambang batas torsi didefinisikan sebagai seperempat momen retak torsi T_{cr}. Untuk komponen struktur dengan penampang solid, interaksi antara momen retak torsi dan retak geser retak adalah berbentuk lingkaran atau elips. Untuk hubungan ini, ambang momen torsi T_{th} yang digunakan di (22.7.4.1) terkait dengan reduksi kurang
22.7.4.1 Ambang batas torsi T_{th} harus dihitung sesuai Tabel 22.7.4.1(a) untuk penampang solid dan Tabel 22.7.4.1(b) untuk penampang berongga, dimana N_u adalah positif untuk tekan dan negatif untuk tarik.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

Tabel 22.7.4.1(a) – Ambang batas torsi untuk penampang solid

Jenis komponen	T_{th}	
Komponen non prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	a)
Komponen prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}}$	b)
Komponen non prategang menerima beban aksial	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$	c)

Tabel 22.7.4.1(b) – Ambang batas torsi untuk penampang berongga

Jenis komponen	T_{th}	
Komponen non prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_g^2}{P_{cp}}\right)$	a)
Komponen prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_g^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}}$	b)
Komponen non prategang menerima beban aksial	$0,083\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_g^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$	c)

dari 5 persen pada retak miring geser yang dapat diabaikan.

Untuk torsi, penampang berongga didefinisikan sebagai penampang yang mempunyai satu atau lebih rongga longitudinal, seperti gelagar-*box* bersel tunggal atau majemuk. Rongga longitudinal yang kecil seperti pada selongsong pascatarik tidak di*grout* (*ungrouted post-tensioning ducts*) yang menghasilkan $A_g/A_{cp} \geq 0,95$ dapat diabaikan saat menghitung T_{th}. Interaksi antara retak torsi dan retak miring geser untuk penampang berongga diasumsikan bervariasi dari hubungan elips untuk komponen struktur berongga kecil, hingga hubungan garis lurus untuk penampang dinding tipis berongga besar. Untuk hubungan garis lurus, momen torsi T_{th} akan menyebabkan reduksi pada geser retak miring sebesar 25 persen yang merupakan nilai yang cukup signifikan. Oleh karena itu, ekspresi untuk penampang solid diubah dengan faktor $(A_g/A_{cp})^2$ untuk penampang berongga. Hasil uji pada balok solid dan berongga (Hsu 1968) mengindikasikan bahwa momen retak torsi dari penampang berongga sekitar (A_g/A_{cp}) kali momen retak torsi pada penampang solid dengan dimensi luar yang sama. Tambahan pengali (A_g/A_{cp}) mencerminkan perubahan dari hubungan lingkaran antara beban retak miring dalam geser dan torsi untuk komponen struktur solid, ke hubungan linier untuk penampang berongga pada dinding tipis.

22.7.5 *Retak torsi*

22.7.5.1 Retak torsi (T_{cr}) harus dihitung sesuai Tabel 22.7.5.1 untuk penampang solid dan berongga, dimana N_u positif untuk tekan dan negatif untuk tarik.

R22.7.5 *Retak torsi* - Momen retak torsi akibat tarik murni T_{cr} diturunkan dengan mengganti penampang aktual dengan tabung dinding tipis ekuivalen dengan ketebalan dinding t sebelum retak sebesar $0,75A_{cp}/P_{cp}$, dan luasan yang dilingkupi oleh garis pusat dinding A_o sama dengan $2A_{cp}/3$ Retak diasumsikan terjadi ketika

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 22.7.5.1 – Retak torsi

Jenis komponen	T_{cr}	
Komponen non prategang	$0,33\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	a)
Komponen prategang	$0,33\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}}$	b)
Komponen non prategang menerima beban aksial	$0,33\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$	c)

22.7.6 *Kekuatan torsi*

PENJELASAN

tegangan tarik utama mencapai $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$. Tegangan saat retak sebesar $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ diambil sebagai nilai batas bawah. Pada balok nonprategang yang dibebani dengan torsi saja, tegangan tarik utama adalah sama dengan tegangan geser torsi $\tau = T/(2A_o t)$. Oleh karena itu, retak terjadi ketika τ mencapai $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ dengan momen retak torsi T_{cr} seperti yang didefinisikan pada poin a) Tabel 22.7.5.1.

Untuk komponen struktur prategang, beban retak torsi ditingkatkan dengan adanya prategang seperti poin b) Tabel 22.7.5.1. Analisis lingkaran Mohr berdasarkan tegangan rata-rata menunjukkan bahwa momen torsi yang dibutuhkan untuk mengakibatkan tegangan tarik utama sama dengan $0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ adalah $\sqrt{1+f_{pc}/(0,33\lambda\sqrt{f_c'})}$ kali momen retak torsi pada balok nonprategang. Modifikasi yang sama dibuat pada poin c) Tabel 22.7.5.1 untuk komponen struktur yang menerima gaya aksial dan torsi.

Jika momen torsi terfaktor melebihi ϕT_{cr} pada struktur statis tak tentu, momen torsi terfaktor maksimum yang sama dengan ϕT_{cr} diasumsikan terjadi pada penampang kritis di dekat muka kolom. Batas ini diterapkan untuk mengontrol lebar retak torsi. Substitusi A_{cp} menjadi A_g pada perhitungan T_{th} untuk penampang berongga pada 22.7.4.1 tidak berlaku di sini. Oleh karena itu, momen torsi setelah redistribusi menjadi lebih besar, dan penampang menjadi lebih konservatif.

R22.7.6 *Kekuatan torsi* - Kekuatan torsi desain ϕT_n harus sama dengan atau lebih besar dari momen torsi T_u akibat beban terfaktor. Dalam menghitung T_n, seluruh torsi diasumsikan ditahan oleh sengkang dan tulangan longitudinal, mengabaikan kontribusi beton pada kekuatan torsi. Pada saat yang sama, kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, V_c diasumsikan tidak berubah karena adanya torsi.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

22.7.6.1 Untuk komponen struktur prategang dan nonprategang, nilai T_n diambil dari nilai terkecil antara poin (a) dan (b):

a) $$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s}\cot\theta \qquad (22.7.6.1a)$$

b) $$T_n = \frac{2A_o A_\ell f_y}{P_h}\cot\theta \qquad (22.7.6.1b)$$

Bila A_o ditentukan dengan analisis, θ tidak boleh diambil kurang dari 30 derajat atau lebih dari 60 derajat; A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi; A_ℓ adalah luas tulangan longitudinal torsi; dan p_h adalah keliling garis tengah terluar sengkang tertutup.

PENJELASAN

R22.7.6.1 Pers. (22.7.6.1a) adalah berdasarkan analogi rangka batang ruang (*space truss analogy*) pada Gambar 22.7.6.1a dengan diagonal tekan bersudut θ, dengan asumsi beton tidak menahan tarik dan tulangan leleh. Setelah retak torsi terbentuk, sebagian besar torsi ditahan oleh sengkang tertutup, tulangan longitudinal, dan diagonal tekan. Lapisan beton diluar sengkang tidak efektif. Untuk alasan ini A_o, luas bruto yang dilingkupi lintasan aliran geser di sekeliling perimeter tabung, didefinisikan setelah retak sebagai A_{oh}, luasan yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup yang terletak paling luar.

Aliran geser q pada dinding tabung, seperti yang dibahas pada R22.7, dapat diselesaikan ke dalam gaya geser V_1 sampai V_4 yang bekerja pada masing-masing sisi tabung atau rangka batang ruang, seperti ditunjukkan pada Gambar R22.7.6.1a.

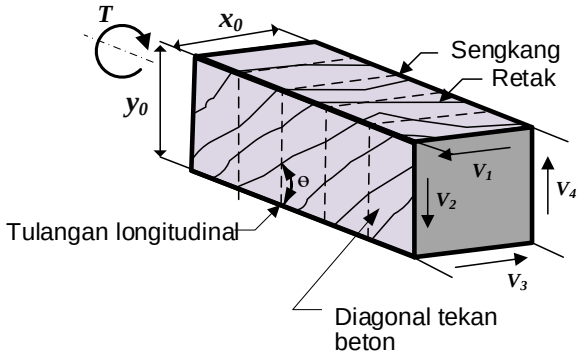
Seperti ditunjukkan Gambar R22.7.6.1b, pada dinding tabung tertentu, aliran geser V_i ditahan oleh komponen beton tekan diagonal, $D_i = V_i / \sin\theta$. Gaya tarik aksial $N_i = V_i(\cot\theta)$ adalah dibutuhkan tulangan longitudinal untuk melengkapi resolusi V_i.

Karena aliran geser yang disebabkan oleh torsi bersifat konstan pada semua titik di sekeliling perimeter tabung, maka resultan D_i dan N_i bekerja di tengah sisi i. Akibatnya, sebagian N_i dapat diasumsikan ditahan oleh bagian atas dan bawah kord (*chord*) seperti yang ditunjukkan. Tulangan longitudinal dengan kekuatan $A_\ell f_y$ dibutuhkan untuk menahan keseluruhan gaya N_i, $\sum N_i$ yang bekerja pada semua dinding tabung.

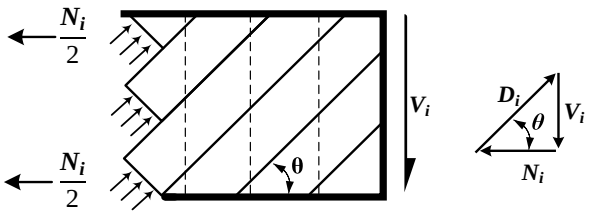
Dalam penurunan Pers. (22.7.6.1b), gaya tarik aksial dijumlahkan pada semua sisi A_o. Sisi-sisi ini membentuk panjang keliling P_o kira-kira sama dengan panjang garis tengah di sudut-sudut tabung. Untuk memudahkan perhitungan, P_o diganti dengan keliling sengkang tertutup P_h.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN



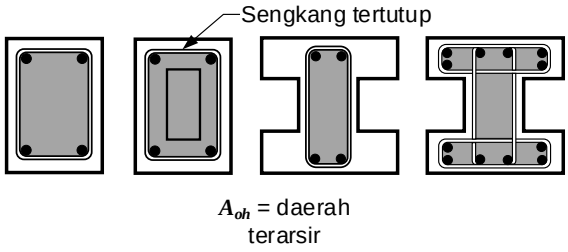
Gambar R22.7.6.1a – Analogi rangka batang (*truss*) ruang



Gambar R22.7.6.1b – Resolusi gaya geser V_i menjadi gaya tekan diagonal D_i dan gaya tarik aksial N_i dalam satu dinding *tube*

22.7.6.1.1 Dalam Pers. (22.7.6.1a) dan (22.7.6.1b), nilai A_o boleh diambil sama dengan $0{,}85A_{oh}$.

R22.7.6.1.1 Luasan A_{oh} seperti yang ditunjukkan pada Gambar R22.7.6.1.1 untuk berbagai penampang. Untuk penampang bebentuk I, T, atau L, A_{oh} diambil dari luasan yang dilingkupi oleh lapisan luar kaki sengkang.



Gambar R22.7.6.1.1 – Definisi A_{oh}

22.7.6.1.2 Dalam Pers. (22.7.6.1a) dan (22.7.6.1b), nilai θ diperbolehkan sama dengan poin a) atau b):

a) 45 derajat untuk komponen non prategang atau komponen dengan $A_{ps} f_{se} < 0{,}4\left(A_{ps} f_{pu} + A_s f_y\right)$

R22.7.6.1.2 Sudut θ dapat diperoleh dengan analisis (Hsu 1990) atau dapat diambil sama dengan nilai yang diberikan pada Pasal 22.7.6.1.2(a) atau (b). Nilai θ yang sama harus digunakan pada Pers. (22.7.6.1a) dan (22.7.6.1b). Dengan nilai θ yang lebih kecil, jumlah sengkang yang dibutuhkan pada Pers. (22.7.6.1a) akan

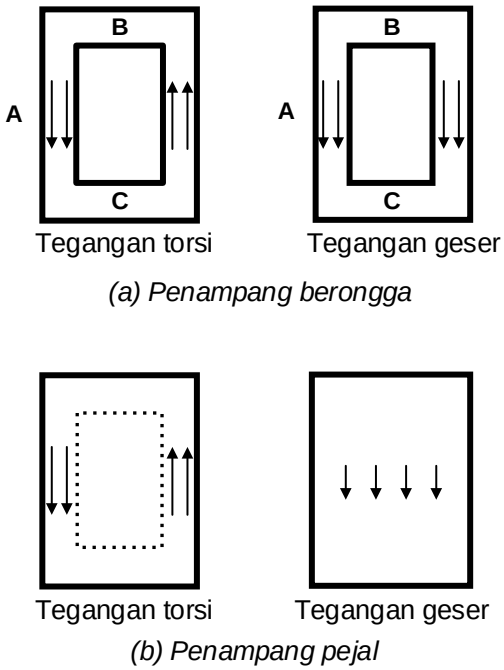
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) 37,5 derajat untuk komponen prategang dengan $A_{ps} f_{se} \geq 0{,}4\left(A_{ps} f_{pu} + A_s f_y\right)$	berkurang. Di sisi lain, jumlah tulangan longitudinal yang dibutuhkan pada Pers. (22.7.6.1b) akan bertambah.
22.7.7 Batasan penampang	**R22.7.7** Batasan penampang
22.7.7.1 Dimensi penampang harus dipilih sedemikian sehingga memenuhi poin a) atau b): a) Untuk penampang solid $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$ (22.7.7.1a)	**R22.7.7.1** Ukuran penampang dibatasi karena dua alasan: pertama, untuk mereduksi retak yang berlebihan, dan kedua, untuk meminimalisir potensi hancurnya permukaan beton akibat tegangan tekan miring yang disebabkan oleh geser dan torsi. Dalam Pers. (22.7.7.1a) dan (22.7.7.1b), kedua variabel pada ruas kiri adalah tegangan geser yang disebabkan oleh torsi dan geser. Jumlah tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan yang menyebabkan retak geser ditambah $0{,}66\sqrt{f_c'}$, serupa dengan batas kekuatan yang diberikan pada 22.5.1.2 untuk geser tanpa torsi. Batas tersebut dinyatakan dalam perumusan V_c untuk membolehkan penerapannya pada komponen nonprategang atau prategang. Batas ini ditetapkan berdasarkan kontrol retak. Tidak perlu mengecek kehancuran badan karena kehancuran terjadi pada saat tegangan geser tinggi.
b) Untuk penampang berongga $\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A_{oh}^2}\right) \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$ (22.7.7.1b)	Untuk penampang berongga, tegangan geser akibat geser dan torsi terjadi di dinding kotak seperti yang tercantum pada Gambar R22.7.7.1(a) dan karenanya adalah penambahan langsung pada poin A di Pers. (22.7.7.1b). Pada penampang solid, tegangan geser akibat torsi yang bekerja dalam penampang sisi luar tabung saat tegangan geser terjadi sementara V_u menyebar melintasi lebar penampang, seperti ditunjukkan pada Gambar R.22.7.7.1(b). Untuk alasan ini, tegangan dikombinasikan pada Pers. (22.7.7.1a) menggunakan akar kuadrat dari jumlah kuadrat daripada dengan penambahan langsung.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R22.7.7.1 – Penambahan tegangan geser dan torsi

22.7.7.1.1 Untuk komponen struktur prategang, nilai d pada 22.7.7.1 tidak boleh kurang dari $0{,}8h$.

R22.7.7.1.1 Meskipun nilai d mungkin bervariasi di antara bentang balok prategang, penelitian (MacGregor and Hanson 1969) menunjukkan bahwa untuk komponen prategang, nilai d tidak perlu diambil kurang dari $0{,}8h$. Balok tersebut mempunyai beberapa tulangan prategang yang lurus atau batang tulangan di bagian bawah penampang, dan mempunyai sengkang yang melingkupi tulangan longitudinal.

22.7.7.1.2 Untuk penampang berongga dimana ketebalan dinding bervariasi di sekeliling penampang, Pers. (22.7.7.1b) harus dievaluasi di lokasi dimana persamaan berikut

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)+\left(\frac{T_u P_h}{1{,}7A^2_{oh}}\right)$$

mencapai nilai maksimum.

R22.7.7.1.2 Pada umumnya, tegangan torsi maksimum pada dinding dimana tegangan torsi dan geser berupa penjumlahan (poin A pada Gambar R22.7.7.1a)). Jika sayap atas atau bawah lebih tipis daripada badan vertikal, mungkin perlu untuk mengevaluasi Pers. (22.7.7.1b) pada Poin B dan C pada Gambar R22.7.7.1a). Di titik-titik ini, tegangan yang terjadi karena geser biasanya dapat diabaikan.

22.7.7.2 Untuk penampang berongga dengan ketebalan dinding kurang dari A_{oh}/p_h, untuk variabel $(T_u p_h / 1{,}7A_{oh}^2)$ pada Pers. (22.7.7.1b) diambil menjadi $(T_u / 1{,}7A_{oh}t)$, dimana t adalah ketebalan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
dinding penampang berongga di lokasi dimana tegangan-tegangan diperiksa.	
22.8 – *Tumpu*	**R22.8 - *Tumpu***
22.8.1 *Umum*	**R22.8.1** *Umum*
22.8.1.1 Pasal 22.8 harus diterapkan pada perhitungan kekuatan tumpu dalam komponen strktur beton.	
22.8.1.2 Kekuatan tumpu sesuai dengan pasal 22.8 tidak dapat diterapkan pada daerah pengangkuran pascatarik atau pada model *strut-and-tie*.	**R22.8.1.2** Karena daerah pengangkuran pascatarik biasanya didesain sesuai dengan pasal 25.9, sehingga ketentuan untuk kekuatan tumpu pada 22.8 tidak dapat diterapkan.
22.8.2 *Kekuatan perlu*	
22.8.2.1 Gaya tekan terfaktor yang ditransfer melalui tumpuan harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban terfaktor yang di definisikan pada Pasal 5 dan prosedur analisis pada Pasal 6.	
22.8.3 *Kekuatan desain*	**R22.8.3** *Kekuatan desain*
22.8.3.1 Kekuatan tumpu desain harus memenuhi: $\phi B_n \geq B_u$ (22.8.3.1) untuk setiap kombinasi pembebanan yang diterapkan.	
22.8.3.2 Kekuatan tumpu nominal B_n dihitung sesuai dengan Tabel 22.8.3.2, dimana A_1 adalah luasan daerah yang dibebani, dan A_2 adalah luasan bagian dasar piramida, kerucut, atau baji miring (*tapered wedge*) di tumpuan dan bagian atas frustum sama dengan daerah yang dibebani. Perbandingan kemiringan vertikal dan horizontal pada sisi samping piramida, kerucut, atau baji miring adalah 1:2.	**R22.8.3.2** Tegangan tumpu (*bearing stress*) yang diizinkan sebesar $0{,}85f_c'$ berdasarkan pada hasil uji Hawkins (1968). Dimana luasan pendukung lebih luas daripada luasan daerah yang dibebani pada semua sisi, dengan beton di sekitarnya mengekang daerah tumpuan, menghasilkan peningkatan kekuatan tumpu. Tidak ada tebal minimum yang disyaratkan untuk tumpuan, karena tumpuan dikontrol berdasarkan persyaratan geser pons (*punching shear*) pada 22.6. A_1 adalah luasan yang dibeban tetapi tidak lebih besar dibandingkan pelat tumpu atau luasan penampang tumpunya. Jika bagian teratas tumpuan berbentuk miring atau berundak, keuntungan masih dapat diperoleh pada kondisis dimana

Tabel 22.8.3.2 – Kekuatan tumpu nominal

Geometri daerah tumpu	B_n		
Permukaan daerah tumpuan	Nilai terkecil	$\sqrt{A_2/A_1}\left(0{,}85 f_c' A_g\right)$	a)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR			
lebih luas pada semua sisi daripada daerah terbebani	dari a) dan b)	$2(0,85f_c'A_1)$	b)
Kasus lain	$0,85f_c'A_1$		c)

PENJELASAN

komponen tumpuan lebih besar dari daerah yang dibebani, asalkan komponen pendukung tidak miring pada sudut yang terlalu besar. Gambar R22.8.3.2 mengilustrasikan penggunaan frustum untuk mencari nilai A_2 pada tumpuan yang menerima transfer beban vertikal.

Kekuatan tumpu yang cukup harus diberikan apabila transfer gaya tekan terjadi pada arah tidak normal pada permukaan tumpuan. Untuk kasus ini, pasal ini hanya berlaku untuk komponen normal, dan komponen tangensial harus ditransfer dengan metode yang lain, seperti baut angkur atau penahan geser (*shear lug*).

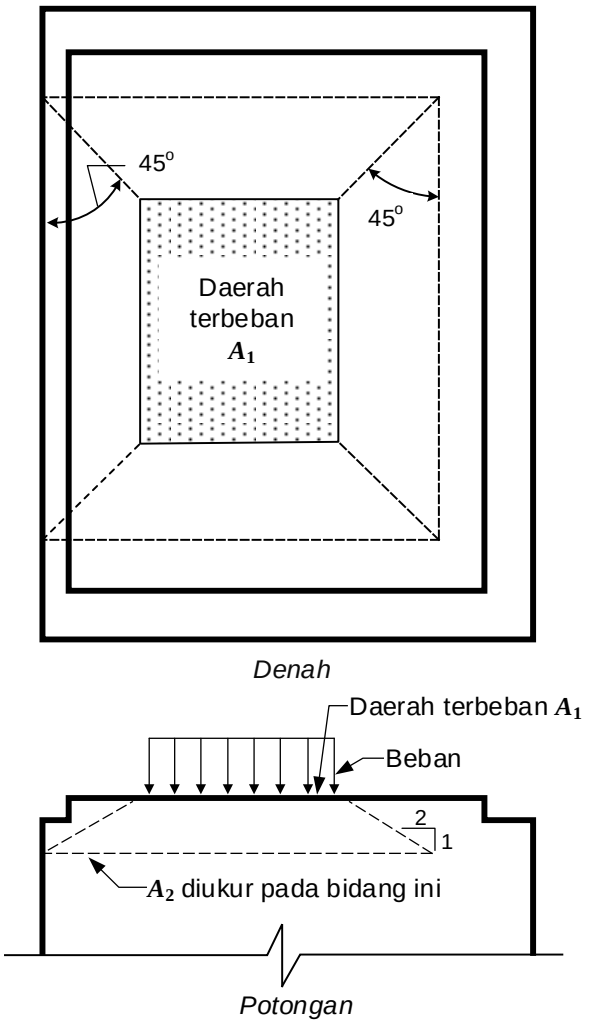
Frustum harus tidak rancu dengan lintasan penyebaran beban yang berjalan sampai ke bawah tumpuan. Lintasan beban tersebut akan mempunyai sisi yang lebih curam. Frustum mempunyai sisi yang lebih datar untuk memastikan adanya beton mengelilingi daerah tegangan tinggi pada tumpuan.

Dimana gaya tarik terjadi pada bidang tumpuan, dimungkinkan untuk mereduksi tegangan tumpu iizn, memasang tulangan pengekang, atau keduanya. Pedoman mengenai hal ini dijelaskan di *PCI Design Handbook* untuk beton pracetak dan prategang (PCI MNI, 120).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R22.8.3.2 – Penggunaan frustum untuk menemukan nilai A_2 dalam tumpuan bertelapak

22.9 - Geser friksi

22.9.1 *Umum*

22.9.1.1 Pasal ini harus diterapkan jika dipandang perlu untuk meninjau penyaluran geser melalui suatu bidang tertentu, seperti bidang retak eksisting atau atau daerah yang mempunyai potensi retak, pada bidang kontak permukaan antara material yang berbeda, atau bidang kontak antara dua beton yang dicor dalam waktu berbeda.

R22.9 - Geser friksi

R22.9.1 *Umum*

R22.9.1.1 Tujuan pasal ini adalah untuk menyediakan metode desain terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan geser gelincir (*sliding shear*) pada suatu bidang. Kondisi ini termasuk bidang yang terbentuk oleh retak pada beton monolit, bidang kontak antara beton dan baja, dan bidang kontak antara beton yang dicor dalam waktu berbeda (Birkeland and Birkeland 1996; Mattock and Hawkins 1972).

Meskipun beton yang tak retak relatif tahan terhadap geser langsung, selalu ada kemungkinan retak terjadi pada lokasi yang tidak terduga. Konsep geser-friksi ini mengasumsi bahwa retak akan selalu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	terjadi, dan bahwa tulangan harus disediakan melewati retak untuk menahan perpindahan relatif sepanjang retak tersebut. Bila geser bekerja sepanjang sebuah retakan, sebuah bidang retak bergeser relatif terhadap yang lainnya. Jika muka retak adalah kasar dan tak beraturan, pergeseran ini disertai dengan pemisahan bidang retak. Pada kekuatan nominal, pemisahan ini cukup menegangkan tulangan yang melintasi retak dalam tarik sampai titik lelehnya. Tulangan tarik memberikan gaya jepitan $A_{vf} f_y$ pada muka retak. Geser yang bekerja kemudian akan ditahan oleh friksi di antara bidang retak, dengan tahanan terhadap geser oleh tonjolan-tonjolan bidang retak, dan dengan aksi dowel tulangan yang melintasi retak. Berhasilnya penerapan ini bergantung dari asumsi pemilihan lokasi untuk retak yang tepat (PCI MNL; Birkeland and Birkeland 1966).
22.9.1.2 Luas perlu tulangan geser-friksi berdasarkan asumsi bidang geser, A_{vf}, dihitung sesuai 22.9.4. Sebagai alternatif, diperbolehkan untuk menggunakan metode desain transfer geser yang menghasilkan prediksi kekuatan yang mendekati dengan hasil uji yang komprehensif.	**R22.9.1.2** Hubungan antara kekuatan transfer-geser dan tulangan yang melintasi bidang geser dapat dirumuskan dengan berbagai cara. Pers. (22.9.4.2) dan Pers. (22.9.4.3) berdasarkan dari model geser-friksi dan memberikan perdiksi kekuatan transfer-geser yang konservatif. Hubungan lain yang memberikan estimasi kekuatan transfer-geser lebih akurat pada bagian ini dapat digunakan sesuai persyaratan-persyaratan dalam pasal ini. Contoh dari prosedur ini bisa ditemukan pada *PCI Design Handbook* (PCI MNL 120), Mattock et al. (1976b), dan Mattock (1974).
22.9.1.3 Nilai f_y yang digunakan untuk menghitung V_n untuk geser friksi tidak boleh melebihi batas pada 20.2.2.4.	
22.9.1.4 Persiapan permukaan untuk bidang geser yang diasumsikan untuk desain harus disebutkan secara spesifik dalam dokumen konstruksi.	**R22.9.1.4** Untuk beton yang dicor terhadap beton yang telah mengeras atau baja struktural, 26.5.6.1 membutuhkan perencana ahli bersertifikat untuk menyebutkan secara spesifik persiapan permukaan beton dalam dokumen konstruksi.
22.9.2 *Kekuatan perlu*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

22.9.2.1 Gaya terfaktor melewati asumsi bidang geser harus dihitung sesuai dengan kombinasi beban terfaktor pada Pasal 5 dan prosedur analisis pada Pasal 6.

22.9.3 *Kekuatan desain*

22.9.3.1 Kekuatan desain geser melewati bidang geser harus memenuhi persayaratan berikut:

$$\phi V_n \geq V_u \qquad (22.9.3.1)$$

untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang diterapkan.

22.9.4 *Kekuatan geser nominal*

22.9.4.1 Nilai V_n pada asumsi bidang geser harus dihitung sesuai ketentuan pada 22.9.4.2 atau 22.9.4.3. V_n tidak boleh melebihi ketentuan pada 22.9.4.4.

22.9.4.2 Jika tulangan geser-friksi tegak lurus terhadap bidang geser, kekuatan geser nominal pada asumsi bidang geser harus dihitung dengan ketentuan berikut:

$$V_n = \mu A_{vf} f_y \qquad (22.9.4.2)$$

dimana A_{vf} adalah luas tulangan yang berpotongan dengan asumsi bidang geser untuk menahan geser, dan μ adalah koefisien friksi sesuai Tabel 22.9.4.2.

Tabel 22.9.4.2 – Koefisien friksi

Kondisi permukaan kontak	Koefisien friksi μ[1]	

PENJELASAN

R22.9.4 *Kekuatan geser nominal*

R22.9.4.2 Luasan yang dibutuhkan untuk tulangan geser-friksi A_{vf} dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_{vf} = \frac{V_u}{\phi f_y \mu} \qquad (R22.9.4.2)$$

Batas atas kekuatan geser yang dapat dicapai menggunakan Pers. (22.9.4.2) diberikan pada 22.9.4.4.

Dalam metode perhitungan geser-friksi, diasumsikan bahwa semua tahanan geser adalah disebabkan oleh friksi di antara bidang retak. Karena itu penting untuk menggunakan nilai koefisien friksi yang tinggi pada persamaan geser-friksi sehingga nilai kekuatan geser yang dihitung akan sesuai dengan hasil uji.

Untuk beton yang dicor di atas permukaan beton yang telah mengeras dan tidak dikasarkan sesuai 22.9.4.2, adanya tahanan geser utamanya disebabkan karena aksi dowel tulangan. Hasil uji (Mattock 1977) mengindikasikan bahwa nilai $\mu = 0,6\lambda$ yang direduksi secara spesifik untuk kasus ini bisa digunakan.

Untuk beton yang dicor pada baja gilas struktural, tulangan untuk transfer-geser

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Beton yang dicor secara monolit	1,4λ	a)
Beton yang dicor diatas permukaan beton yang telah mengeras yang bersih, bebas material halus (*laitance*), dan sengaja dikasarkan sampai amplitudo penuh kira-kira 6 mm.	1,0λ	b)
Beton yang dicor diatas permukaan beton yang telah mengeras yang bersih, bebas material halus (*laitance*), dan secara sengaja tidak dikasarkan.	0,6λ	c)
Beton yang dicor diatas permukaan baja struktural yang bersih, tidak di cat, dan dengan geser yang di transfer pada permukaan dengan *stud* berkepala, atau tulangan ulir yang dilas, atau kawat.	0,7λ	d)

[1] λ = 1,0 dari berat normal beton; λ = 0,75 untuk semua beton ringan. Sebaliknya, λ dihitung berdasarkan proporsi volume dari agregat ringan dan normal sesuai 19.2.4, tapi tidak melebihi 0,85.

22.9.4.3 Jika tulangan geser-friksi terletak membentuk sudut terhadap bidang geser sehingga gaya geser yang bekerja menghasilkan gaya tarik pada tulangan geser-friksi, kekuatan geser nominal pada asumsi bidang geser dihitung dengan:

$$V_n = A_{vf}\, f_y\, (\mu \sin\alpha + \cos\alpha) \qquad (22.9.4.3)$$

dimana α adalah sudut antara tulangan geser-friksi dan asumsi bidang geser, dan μ adalah koefisien friksi yang tercantum pada Tabel 22.9.4.2.

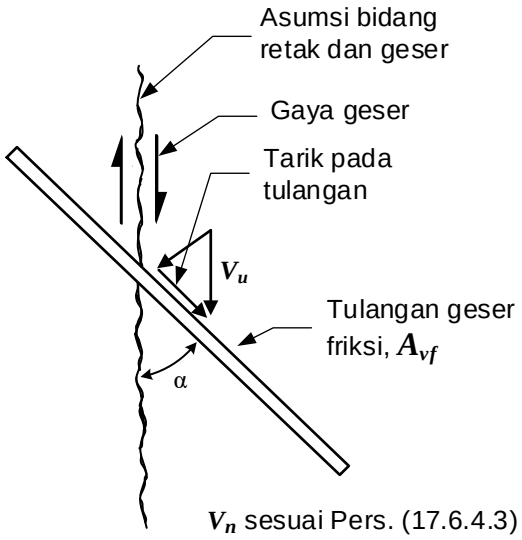
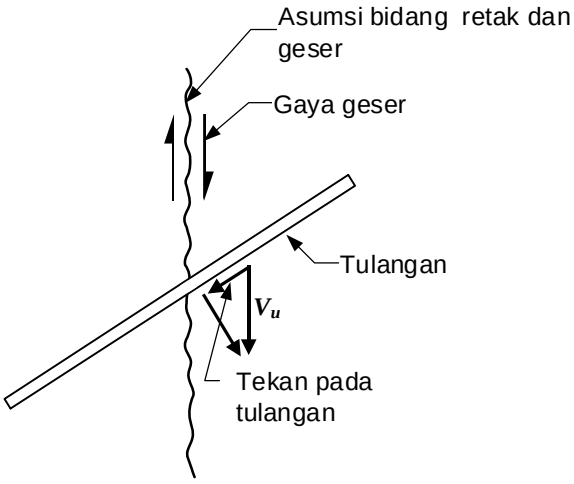
PENJELASAN

bisa saja berbentuk batang tulangan atau *stud* berkepala. Desain konektor geser (*shear connector*) untuk aksi komposit pelat beton dan balok baja tidak diatur dalam standar ini. Ketentuan untuk desain konektor geser tertera dalam AISC 360 atau SNI 1729.

R22.9.4.3 Tulangan geser-friksi miring diilustrasikan pada Gambar R22.9.4.3 (Mattock 1974), dimana α adalah sudut tajam antara batang tulangan dan bidang geser. Pers. (22.9.4.3) hanya berlaku jika komponen gaya geser sejajar dengan tulangan yang menghasilkan tarik dan komponen gaya yang sejajar dengan bidang geser menahan sebagian gaya geser, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R22.9.4.3a.

Jika komponen geser-friksi terletak miring sehingga komponen gaya geser sejajar dengan tulangan yang menghasilkan tekan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R22.9.4.3b, maka geser friksi tidak berlaku (V_n=0).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R22.9.4.3a–Tarik pada tulangan geser friksi**
	 Perilaku geser-friksi tidak berlaku **Gambar R22.9.4.3b – Tekan pada tulangan**
22.9.4.4 Nilai V_n melewati asumsi bidang geser tidak boleh melebihi batas pada Tabel 22.9.4.4. Dimana beton yang mempunyai kekuatan berbeda dicor satu sama lain, nilai f_c' yang lebih kecil digunakan pada Tabel 22.9.4.4.	**R22.9.4.4** Adanya batas atas pada kekuatan geser friksi penting, seperti Pers. (22.9.4.2) dan Pers. (22.9.4.3) mungkin tidak konservatif untuk beberapa kasus (Kahn and Mitchell 2002; Mattock 2001).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 22.9.4.4 – Nilai V_n maksimum pada asumsi bidang geser

Kondisi permukaan	Nilai maksimum V_n		
Beton normal yang dicor diatas permukaan beton yang telah mengeras, dan sengaja dikasarkan sampai amplitude penuh sekitar 6 mm	Terkecil dari a), b), dan c)	$0,2 f_c' A_c$	a)
		$(3,3+0,08 f_c') A_c$	b)
		$11 A_c$	c)
Kasus lain	Terkecil dari d) dan e)	$0,2 f_c' A_c$	d)
		$5,5 A_c$	e)

22.9.4.5 Gaya tekan netto permanen yang bekerja pada bidang geser boleh diperhitungkan sebagai tambahan terhadap gaya pada tulangan geser friksi $A_{vf} f_y$ pada saat menghitung A_{vf} perlu.

22.9.4.6 Luas tulangan perlu untuk menahan gaya tarik netto terfaktor yang bekerja pada asumsi bidang geser harus ditambahkan pada luas tulangan perlu untuk geser-friksi pada asumsi bidang geser.

22.9.5 *Pendetailan untuk tulangan geser-friksi*

22.9.5.1 Tulangan pada bidang geser untuk memenuhi 22.9.4 harus di angkur agar mampu mengembangkan f_y pada kedua sisi bidang geser.

PENJELASAN

R22.9.4.5 Ketentuan ini didukung oleh data uji (Mattock and Hawkins 1972) dan harus digunakan untuk mereduksi jumlah tulangan geser-friksi perlu jika gaya tekan yang bekerja pada bidang geser bersifat permanen.

R22.9.4.6 Tarik pada bidang geser dapat menyebabkan kekangan deformasi karena perubahan suhu, rangkak, dan susut.

Bila momen berkerja pada bidang geser, lentur tekan dan tarik adalah dalam kondisi setimbang dan tidak merubah resultan gaya tekan $A_{vf} f_y$ pada bidang geser atau tahanan geser-friksi. Oleh karena itu, tidak perlu menyediakan tulangan tambahan untuk menahan tegangan tarik lentur, kecuali kebutuhan tulangan tarik lentur melebihi jumlah tulangan transfer-geser pada daerah tarik lentur (Mattock et al. 1975).

R22.9.5 *Pendetailan untuk tulangan geser-friksi*

R22.9.5.1 Jika tidak ada momen bekerja pada bidang geser, tulangan harus di distribusikan secara merata pada bidang geser untuk meminimalisir lebar retak. Jika momen bekerja pada bidang geser, tulangan transfer-geser harus ditempatkan terutama pada daerah tarik lentur.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Angkur bisa dikembangkan dengan lekatan, dengan perangkat angkur mekanik, atau dowel berulir dan sisipan sekrup (*screw inserts*). Batasan spasi kadang dibutuhkan pada perangkat angkur mekanikal. Untuk angkur dengan *stud* berkepala pada beton, metodenya mengacu pada *PCI Design Handbook* untuk beton pracetak dan beton prategang (PCI MNL 120). Pengangkuran tulangan geser-friksi harus mengikat tulangan utama; jika tidak, potensial retak dapat melewati antara tulangan geser-friksi dan badan beton. Persyaratan ini terutama berlaku untuk *stud* berkepala las dengan sisipan baja.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 23 – MODEL *STRUT AND TIE*

23.1 - Ruang lingkup

23.1.1 Pasal ini digunakan untuk desain komponen struktur beton, atau bagian dari komponen struktur bila beban atau diskontinuitas geometri menyebabkan distribusi nonlinear pada regangan longitudinal sepanjang penampang.

23.1.2 Sebarang komponen struktur beton, atau daerah diskontinu pada komponen struktur diizinkan didesain dengan memodelkan komponen atau daerah yang diidealisasikan sebagai rangka batang menurut pasal ini.

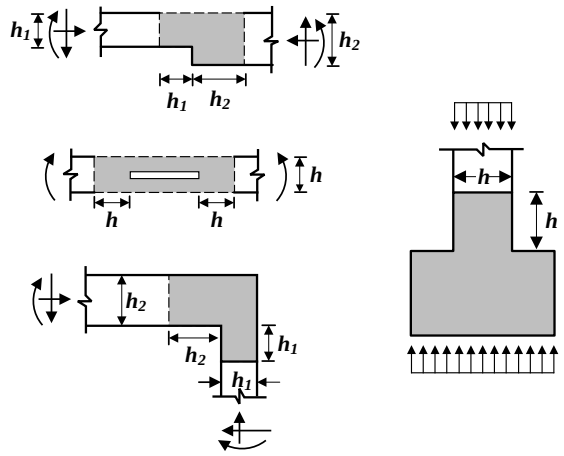
R23.1 - Ruang lingkup

Diskontinuitas dalam distribusi tegangan terjadi pada perubahan geometri elemen struktural atau pada beban terpusat atau reaksi. Prinsip St. Venant menunjukkan bahwa tegangan akibat gaya aksial dan lentur mendekati distribusi linear pada jarak kira-kira sama dengan keseluruhan tinggi komponen h yang jauh dari diskontinuitas. Oleh karena itu, daerah diskontinuitas diasumsikan menerus sejarak h dari penampang dimana beban atau perubahan geometri terjadi.

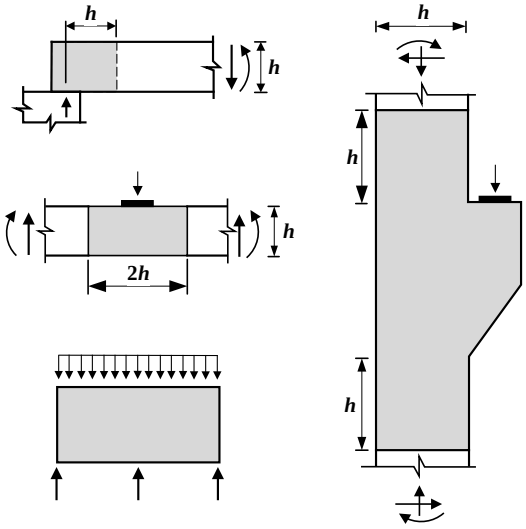
Daerah yang diarsir pada Gambar R23.1(a) dan (b) menunjukkan tipikal daerah-D (Schlaich et al. 1987). Asumsi penampang bidang 9.2.1 tidak berlaku di daerah tersebut. Secara umum, setiap bagian dari komponen struktur di luar daerah-D adalah daerah-B di mana asumsi penampang bidang teori lentur dapat diterapkan. Metode desain *strut and tie*, seperti yang dijelaskan dalam pasal ini, didasarkan pada asumsi bahwa daerah-D dapat dianalisis dan dirancang menggunakan sambungan sendi (*pin-jointed)* rangka batang hipotetikal yang terdiri dari *strut* dan *tie* yang terhubung pada nodal.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN



(a) Diskontinuitas geometri



(b) Diskontinuitas geometri dan beban

Gambar R23.1 – Daerah-D dan diskontinuitas

23.2 - Umum

23.2.1 Model *strut and tie* terdiri dari *strut* dan *tie* yang terhubung pada nodal untuk membentuk idealisasi rangka batang.

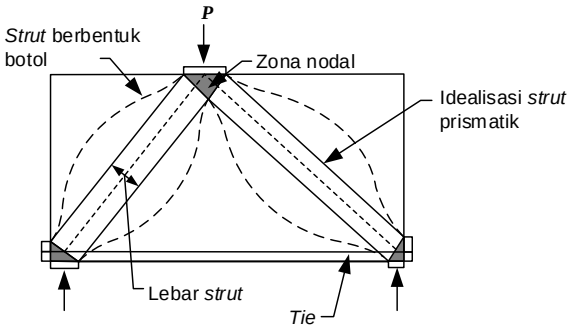
R23.2 - Umum

R23.2.1 Untuk rangka batang idealisasi, *strut* merupakan komponen tekan, *tie* adalah komponen tarik, dan nodal adalah titik hubung (*joint*). Rincian penggunaan model *strut and tie* terdapat dalam Schlaich et al. (1987), Collins and Mitchell (1991), MacGregor (1997), FIP (1999), Menn (1986), Muttoni et al. (1997), dan ACI 445R. Contoh desain untuk metode *strut-and-tie* terdapat pada ACI SP-208 (Reineck 2002) dan ACI SP-273 (Reineck and Novak 2010). Proses desain model *strut-and-tie* untuk memikul gaya yang diberikan yang bekerja dalam daerah-D disebut sebagai metode *strut*-and-*tie*, mencakup empat langkah berikut:

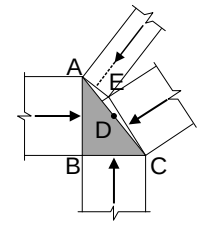
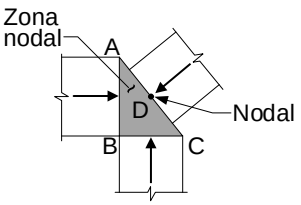
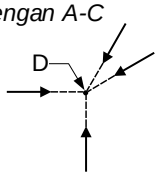
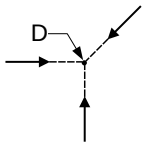
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	1) Menemukan dan memisahkan setiap daerah-D. 2) Menghitung gaya resultan pada setiap batas daerah-D. 3) Memilih model dan menghitung kekuatan dalam *strut* dan *tie* untuk mentransfer gaya resultan melintasi daerah-D. Sumbu *strut* dan *tie* dipilih kira-kira berhimpit dengan sumbu medan tekan dan tarik. 4) Merancang *strut*, *tie*, dan zona nodal sehingga mereka memiliki kekuatan yang cukup. Lebar dari *strut* dan zona nodal ditentukan dengan mempertimbangkan kekuatan beton efektif yang didefinisikan dalam 23.4.3 dan 23.9.2. Tulangan diberikan sebagai pengikat dengan mempertimbangkan kekuatan baja yang ditentukan dalam 23.7.2. Tulangan harus diletakan di dalam atau di luar zona nodal. Komponen-komponen model *strut-and-tie* sebuah balok tinggi bentang tunggal yang dibebani beban terpusat seperti terlihat pada Gambar R23.2.1. Dimensi penampang melintang *strut* atau *tie* ditetapkan tebal dan lebarnya, dan kedua arah adalah tegak lurus terhadap sumbu dari *strut* atau *tie*. Ketebalan tegak lurus terhadap bidang, dan lebar berada sebidang model *strut-and-tie*. Sebuah *tie* terdiri dari tulangan prategang atau nonpratengang ditambah sebagian dari beton di sekitarnya yang konsentris dengan sumbu *tie*. Beton sekitarnya dimasukkan untuk menentukan zona dimana gaya-gaya *tie* harus diikatkan. Beton dalam *tie* tidak digunakan untuk menahan gaya aksial *tie* tersebut. Meskipun tidak secara eksplisit dipertimbangkan dalam desain, beton di sekitarnya akan mengurangi elongasi perpanjangan *tie*, terutama saat beban layan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R23.2.1 – Deskripsi model *strut-and-tie*** **R23.2.2** *Strut*, *tie*, dan zona nodal yang membentuk model *strut-and-tie* semuanya memiliki lebar tertentu, biasanya pada bidang model, dan ketebalan, biasanya dimensi tak sebidang dari struktur, yang seharusnya diperhitungkan dalam memilih dimensi rangka batang. Gambar R23.2.2(a) dan (b) menunjukkan nodal dan zona nodal terkait. Gaya vertikal dan horizontal saling menyeimbangkan gaya pada *strut* miring. Jika lebih dari tiga gaya bekerja pada zona nodal dalam model *strut-and-tie* dua dimensi, seperti ditunjukkan pada Gambar R23.2.2(a), disarankan menyelesaikan beberapa gaya untuk membentuk tiga gaya yang berpotongan. Gaya *strut* bekerja pada permukaan A-E dan C-E pada Gambar R23.2.2(a) dapat diganti dengan satu gaya yang bekerja pada permukaan A-C seperti yang ditunjukkan pada Gambar R23.2.2(b). Gaya ini melewati nodal D. Atau, model *strut-and-tie* dapat dianalisis dengan asumsi semua gaya *strut* bekerja melalui nodal di D, seperti yang ditunjukkan Gambar R23.2.2(c). Dalam hal ini, gaya-gaya dalam dua *strut* di sisi kanan simpul D dapat dipecahkan menjadi satu gaya yang bekerja melalui Titik D, seperti ditunjukkan pada Gambar R23.2.2(d). Jika lebar tumpuan pada arah tegak lurus komponen adalah kurang dari lebar komponen struktur, tulangan transversal mungkin diperlukan untuk menahan pembelahan vertikal di bidang nodal. Ini dapat dimodelkan menggunakan model *strut-and-tie* transversal.
23.2.2 Geometri idealisasi rangka batang harus konsisten dengan dimensi *strut*, *tie*, zona nodal, area tumpu, dan tumpuan.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	 *(a)* Strut *A-E dan C-E dapat digantikan dengan A-C*  *(b) Tiga* strut *yang bekerja pada sebuah zona nodal*  *(c) Empat gaya bekerja pada nodal D*  *(d) Gaya pada sisi kanan nodal dalam gambar (c) ditentukan resultantenya* **Gambar R23.2.2 – Resolusi gaya pada zona nodal**
23.2.3 Model *strut-and-tie* harus mampu mentransfer semua beban terfaktor ke tumpuan atau daerah B yang berdekatan.	**R23.2.3** Model *strut-and-tie* merepresentasikan batas bawah kekuatan batas. Standar ini tidak memerlukan tingkat minimum tulangan distribusi di daerah-D yang dirancang oleh pasal ini, tetapi berlaku untuk balok tinggi di 9.9.3.1 dan untuk *bracket* dan korbel dalam 16.5.5. Tulangan terdistribusi dalam tipe-D yang serupa akan meningkatkan kinerja kemampuan layan. Selain itu, lebar retak dalam *tie* dapat dikontrol menggunakan 24.3.2, dengan asumsi *tie* dilingkupi dalam prisma beton yang sesuai dengan area *tie* dari R23.8.1.
23.2.4 Gaya internal dalam model *strut-and-tie* harus dalam posisi seimbang dengan beban dan reaksi yang bekerja.	
23.2.5 *Ties* diizinkan melintas *strut* dan *ties* lainnya.	
23.2.6 *Strut* harus berpotongan atau saling tumpang tindih hanya boleh terjadi pada nodal.	**R23.2.6** Zona nodal hidrostatik, menurut definisi, memiliki tekanan yang sama pada permukaan yang dibebani; permukaan ini tegak lurus dengan sumbu *strut* dan *tie* yang bekerja pada nodal. Jenis nodal ini dianggap sebagai zona nodal hidrostatik karena tekanan sebidang sama di semua arah. Secara tegas, terminologi ini tidak benar karena tegangan sebidang tidak sama dengan tegangan ke luar bidang.

© BSN 2019

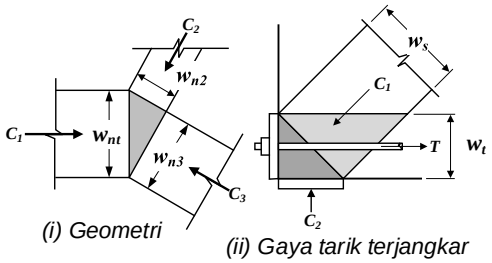
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Gambar R23.2.6a(i) menunjukkan zona nodal C-C-C. Jika tegangan pada permukaan zona nodal adalah sama di ketiga *strut*, rasio panjang dari sisi zona nodal, w_{n1}:w_{n2}:w_{n3}, berada dalam proporsi yang sama dengan tiga gaya, $C1$:$C2$:$C3$. Zona nodal C-C-T dapat direpresentasikan sebagai zona nodal hidrostatik jika *tie* diasumsikan diteruskan melalui nodal dan diangkur dengan pelat di sisi yang jauh dari nodal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar R23.2.6a(ii), disediakan ukuran pelat yang menghasilkan tegangan tumpu yang sama dengan tegangan pada *strut*. Pelat tumpu di sisi kiri Gambar. R23.2.6a(ii) digunakan untuk merepresentasikan pengangkuran *tie* yang sebenarnya. Gaya *tie* dapat diangkur oleh sebuah pelat atau melalui penanaman batang lurus (Gambar. R23.2.6a(iii)), batang berkepala, atau batang berkait. Untuk nodal nonhidrostatik, permukaan dengan tegangan tertinggi akan mengontrol dimensi nodal. Daerah yang diarsir lebih terang pada Gambar R23.2.6a(ii) adalah zona nodal yang diperpanjang. Zona nodal yang diperpanjang merupakan bagian dari komponen yang diikat dengan perpotongan lebar *strut* efektif w_s dan lebar *tie* efektif w_t. Untuk keseimbangan, setidaknya tiga gaya harus bekerja pada setiap nodal dalam model *strut-and-tie*, seperti yang ditunjukkan Gambar R23.2.6c. Nodal diklasifikasikan menurut tanda-tanda gaya ini. Nodal C-C-C menahan tiga gaya tekan, Nodal C-C-T menahan dua gaya tekan dan satu gaya tarik, dan Nodal C-T-T menahan satu gaya tekan dan dua gaya tarik.

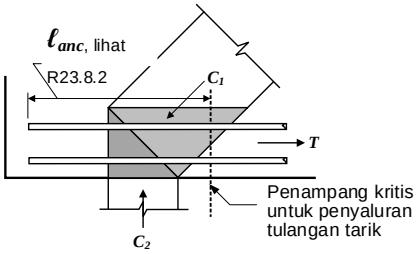
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN

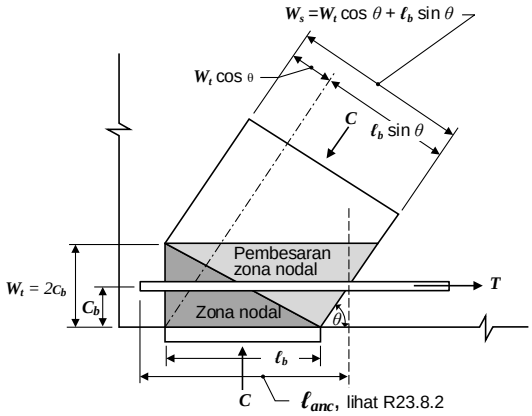


(i) Geometri *(ii) Gaya tarik terjangkar oleh pelat angkur*

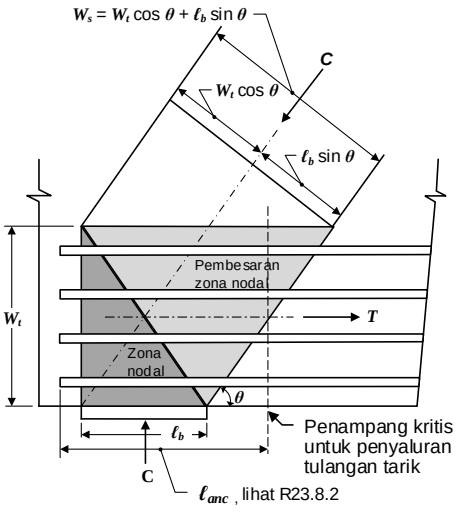


(iii) Gaya tarik terjangkar karena penanaman

Gambar R23.2.6a – Nodal hidrostatik



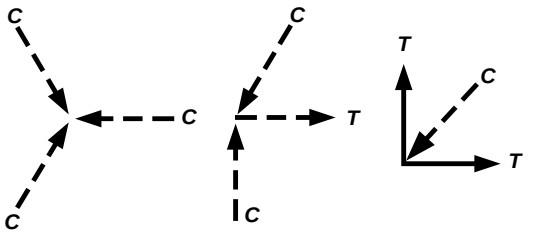
(i) Satu lapis tulangan



(ii) Tulangan terdistribusi

Gambar R23.2.6b – Zona nodal yang diteruskan menunjukkan efek distribusi gaya

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R23.2.6c – Klasifikasi nodal**
23.2.7 Sudut antara sumbu-sumbu sebarang *strut* dan *tie* yang memasuki sebuah nodal tidak boleh diambil kurang dari 25 derajat.	**R.23.2.7** Sudut antara sumbu pada suatu *strut* dan *tie* yang bekerja pada nodal harus cukup besar untuk mencegah retak dan untuk menghindari ketidaksesuaian karena pemendekkan *strut* dan perpanjangan *tie* terjadi pada sekitar arah yang sama. Pembatasan sudut ini mencegah pemodelan bentang geser di balok ramping (*slender*) menggunakan *strut* miring kurang dari 25 derajat terhadap tulangan longitudinal (Muttoni et al. 1997).
23.2.8 Balok tinggi yang didesain menggunakan model *strut and tie* harus memenuhi 9.9.2.1, 9.9.3.1, and 9.9.4.	
23.2.9 Braket dan korbel dengan rasio bentang geser terhadap tinggi $\alpha_v/d < 2{,}0$ yang didesain menggunakan model *strut and tie* harus memenuhi 16.5.2, 16.5.6, dan Pers. (23.2.9) $A_{sc} \geq 0{,}04\left(f_c'/f_y\right)\left(b_w d\right)$ (23.2.9)	
23.3 - Kekuatan desain **23.3.1** Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ada, Kekuatan desain setiap *strut, tie*, dan zona nodal dalam suatu model *strut and tie* harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ termasuk a) hingga c): a) *Strut*: $\phi F_{ns} \geq F_{us}$ b) *Tie*: $\phi F_{nt} \geq F_{ut}$ c) Zona nodal: $\phi F_{nn} \geq F_{us}$	**R23.3 - Kekuatan desain** **R23.3.1** Beban-beban terfaktor diaplikasikan ke model *strut*-and-*tie*, dan gaya-gaya di semua *strut*, *tie*, dan zona nodal kemudian dihitung. Apabila terdapat beberapa kombinasi beban, masing-masing kombinasi beban harus diperiksa secara terpisah. Untuk *strut*, *tie*, dan zona nodal yang diberikan, F_u merupakan gaya terbesar di elemen tersebut untuk semua kombinasi beban yang ditinjau.
23.3.2 ϕ harus sesuai dengan 21.2	
23.4 - Kekuatan *strut* **23.4.1**. Kekuatan tekan nominal *strut*, F_{ns}, harus dihitung dengan a) atau b):	**R23.4 - Kekuatan *strut*** **R23.4.1** Lebar *strut*, w_s, yang digunakan untuk menghitung A_{cs} adalah dimensi tegak

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

a) *Strut* tanpa tulangan longitudinal

$$F_{ns} = f_{ce}A_{cs} \qquad (23.4.1a)$$

b) *Strut* dengan tulangan longitudinal

$$F_{ns} = f_{ce}A_{cs} + A_s' f_s' \qquad (23.4.1b)$$

Dimana F_{ns} harus dievaluasi pada setiap ujung *strut* dan diambil nilai terkecil; A_{cs} merupakan luas penampang pada ujung *strut* yang ditinjau; f_{ce} diberikan dalam 23.4.3; A_s' merupakan luasan tulangan tekan sepanjang *strut*; dan f_s' merupakan tegangan tulagan tekan pada kekuatan tekan nominal *strut*. Harus diizinkan untuk menggunakan f_s' sama dengan f_y untuk tulangan Mutu 280 dan Mutu 420.

23.4.2 Kekuatan tekan efektif beton pada *strut*, f_{ce}, harus dihitung sesuai dengan 23.4.3 atau 23.4.4.

23.4.3 Kekuatan tekan efektif beton dalam sebuah *strut*, f_{ce}, harus dihitung dengan :

$$f_{ce} = 0{,}85\beta_s f_c' \qquad (23.4.3)$$

dimana β_s, sesuai dengan dengan Tabel 23.4.3, yang mengikutsertakan pengaruh retak dan tulangan kontrol retak pada kekuatan tekan efektif beton.

Tabel 23.4.3 – Koefisien *strut* β_s

Gemetri dan lokasi *strut*	**Tulangan melewati *strut***	**β_s**	
Strut dengan luas penampang pada seluruh panjangnya seragam	NA	1,0	(a)
Strut yang terletak di daerah sebuah komponen dimana lebar beton yang tertekan pada tengah panjang *strut*	Memenuhi 23.5	0,75	(b)
	Tidak memenuhi 23.5	0,60λ	(c)

PENJELASAN

lurus terhadap sumbu *strut* pada ujung-ujung *strut*. Lebar *strut* ini digambarkan dalam Gambar R23.2.6a(i) dan Gambar R23.2.6b. Apabila model *strut*-and-*tie* dua dimensi adalah sesuai, seperti untuk balok tinggi, ketebalan *strut* dapat diambil sebagai lebar dari komponen struktur kecuali pada landasan tumpuan dimana ketebalan dari *strut* harus sama dengan ketebalan terkecil dari komponen struktur atau elemen penumpu.

Kontribusi tulangan pada kekuatan *strut* diberikan oleh bagian akhir Pers. (23.4.1b). Tegangan f_s' dalam tulangan *strut* pada kekuatan nominal dapat diperoleh dari regangan *strut* ketika *strut* runtuh. Persyaratan-persyaratan pendetailan di 23.6 harus dipenuhi termasuk tulangan pengekang untuk mencegah tekuk tulangan *strut*.

R.23.4.2 Dalam desain *strut* umumnya diidealkan sebagai komponen struktur tekan prismatik. Apabila luas sebuah *strut* berbeda pada kedua ujungnya, karena perbedan kekuatan zona nodal pada kedua ujungnya atau perbedaan panjang tumpuan, *strut* diidealkan sebagai suatu komponen struktur tekan tirus yang seragam.

R.23.4.3 Koefisien kekuatan $0{,}85f_c'$ dalam Pers. (23.4.3) merepresentasikan kekuatan efektif beton terhadap tekan tetap, yang sama digunakan dalam Pers. (22.4.2.2) dan (22.4.2.3).

Nilai β_s, di (a) Tabel 23.4.3 berlaku untuk *strut* prismatik dan menghasilkan suatu tegangan yang setara dengan tekanan blok persegi di dalam daerah tekan dari balok atau kolom.

Nilai β_s di (b) Tabel 23.4.3 berlaku untuk *strut* berbentuk botol seperti yang ditunjukkan dalam gambar R23.4.3. Sebuah *strut* berbentuk botol merupakan *strut* yang terletak dalam bagian komponen struktur dimana lebar dari beton yang tertekan pada pertengahan bentang suatu *strut* yang menyebar secara lateral. (Schlaich et al.1987; MacGregor 1997). Kurva yang terputus-putus dari *strut* dalam Gambar R23.2.1 dan kurva yang solid dalam Gambar R23.4.3 kira-kira mengambarkan batasan-batasan *strut*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

dapat melebar ke arah lateral (*strut* berbentuk botol)			
Strut yang terletak di komponen struktur tarik atau di daerah tarik komponen struktur	NA	0,40	(d)
Kasus lainnya	NA	0,60λ	(e)

23.4.4 Jika tulangan pengekang dipasang sepanjang *strut* dan efeknya direkam dalam uji dan analisis, maka diizinkan untuk

PENJELASAN

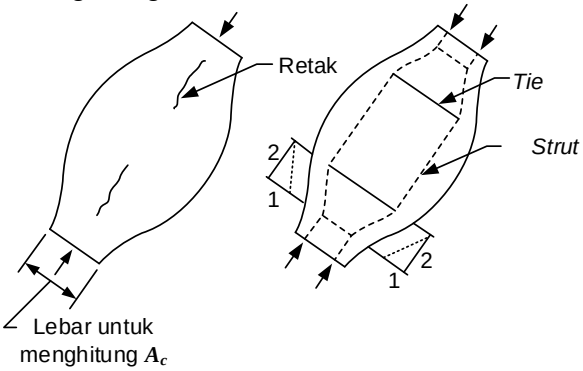
berbentuk botol. Untuk penyederhanaan desain, *strut* berbentuk botol diidealkan sebagai penampang prismatik atau tirus, dan tulangan pengontrol retak dari 23.5.3 disediakan untuk menahan tarik transversal. Luas penampang A_c, *strut* berbentuk botol diambil sebagai luas penampang terkecil pada kedua ujung *strut*. Merujuk ke Gambar R23.4.3(a).

Nilai β_s, di (c) berlaku untuk *strut* berbentuk botol tanpa tulangan transversal. Kekuatan sebuah strut tanpa tulangan transversal direduksi dengan tarik transversal tak terkekang. Merujuk ke Gambar R23.4.3(a).

Nilai β_s di (d) berlaku, sebagai contoh untuk *strut* tekan dalam suatu model *strut-and-tie* digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal dan transversal dari tarik sayap balok, gelagar box, dan dinding. Nilai yang rendah dari β_s mencerminkan bahwa *strut* butuh untuk mentransfer tekan dalam suatu zona dimana tegangan tarik bekerja tegak lurus terhadap *strut*.

Nilai β_s, di (e) berlaku untuk semua kasus. Contohnya strut berbentuk kipas dan medan diagonal tekan di daerah-B

Nilai β_s dalam (c) dan (e), yang diatur oleh belah longitudinal *strut*, termasuk faktor koreksi λ untuk beton ringan. Beton ringan memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dan kegetasan yang tinggi yang dapat mengurangi kekuatan *strut*.

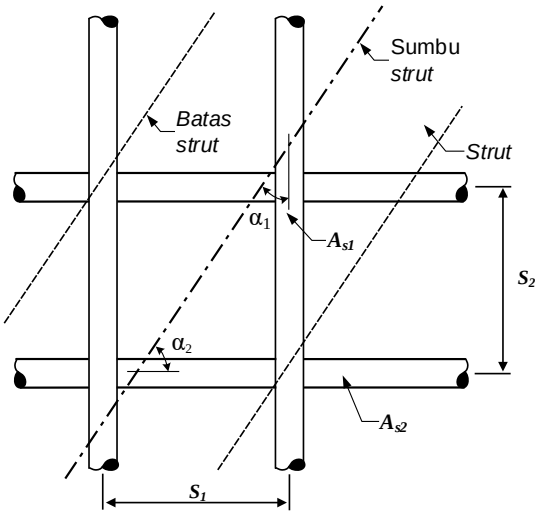


Gambar R23.4.3 – *Strut* berbentuk botol: (a) retakan dari *strut* berbentuk botol; dan (b) model *strut* and *tie* berbentuk botol

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
meningkatkan nilai f_{ce} ketika menghitung F_{ns}.	
23.5 - Tulangan yang melewati *strut* berbentuk botol	**R23.5 - Tulangan yang melewati *strut* berbentuk botol**
23.5.1 Untuk *strut* berbentuk botol yang didesain dengan β_s = **0,75**, tulangan yang menahan tarik melintang akibat adanya penyebaran gaya tekan pada *strut* harus melewati sumbu *strut*. Diizinkan untuk menentukan gaya tarik melintang dengan mengasumsikan gaya tekan pada *strut* berbentuk botol menyebar dengan kemiringan paralel 2:1 tegak lurus terhadap sumbu *strut*.	**R23.5.1** Tulangan yang dibutuhkan oleh 23.5.1 terkait dengan gaya tarik pada beton karena penyebaran *strut*. Jumlah tulangan transversal dapat dihitung menggunakan model *strut*-and-*tie* ditunjukkan dalam Gambar R23.4.3(b) dimana *strut* yang merepresentasikan penyebaran gaya tekan yang bekerja dengan kemiringan 1:2 terhadap sumbu gaya tekan yang diterapkan. Tulangan yang dipasang untuk menahan gaya belah (*splitting*) menahan lebar retak, membolehkan *strut* untuk menahan gaya aksial lebih, dan mengizinkan beberapa redistribusi gaya. Alternatifnya, untuk f_c' yang tidak melebihi 40 MPa, Pers. (23.5.3) dapat digunakan untuk memilih luas tulangan transversal terdistribusi.
23.5.2 Tulangan yang disyaratkan pada 23.5.1 harus diteruskan melewati *strut* sesuai dengan 25.4.	
23.5.3 Distribusi tulangan yang dihitung sesuai dengan Pers. (23.5.3) dan melewati sumbu *strut* harus memenuhi 23.5.1 jika f_c' **< 40 MPa**.	**R23.5.3** Gambar R23.5.3 menunjukkan dua lapisan tulangan memotong retak *strut*. Tulangan ini akan membantu mengendalikan retak dalam suatu *strut* berbentuk botol (merujuk Gambar R23.4.3) dan menghasilkan kapasitas *strut* yang lebih besar daripada apabila tulangan terdistribusi ini tidak dimasukkan. Subskrip i dalam Pers. (23.5.3) adalah 1 untuk batang vertikal dan 2 untuk batang horizontal. Pers. (23.5.3) tertulis dalam bentuk suatu rasio tulangan, bukan dalam bentuk tegangan, untuk menyederhanakan perhitungan.
$$\sum \frac{A_{si}}{b_s s_i} \sin \alpha_i \geq 0{,}003 \qquad (23.5.3)$$	Seringkali, tulangan terdistribusi ini sulit untuk ditempatkan dalam struktur-struktur seperti pile cap. Apabila tulangan tidak disediakan, nilai β_s, diberikan dalam poin (c) di Tabel 23.4.3 seharusnya digunakan.
dimana A_{si} adalah luasan total tulangan yang terdistribusi dengan spasi s_i pada arah i dari tulangan yang melewati *strut* pada sudut α_i terhadap sumbu *strut* dan b_s adalah lebar dari *strut.*	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R23.5.3 – Tulangan melintasi sebuah *strut*** **R23.5.3.1** Satu contoh yang penting dari penerapan 23.5.3.1 adalah pada korbel dengan rasio geser bentang-tinggi kurang dari 1,0, yang mana tulangan terdistribusi dibutuhkan untuk memenuhi 23.5.1 biasanya tersedia dalam bentuk sengkang horizontal memotong *strut* tekan miring, seperti ditunjukkan dalam Gambar R16.5.1b.
23.5.3.1 Distribusi tulangan yang disyaratkan oleh 23.5.3 harus dipasang tegak lurus dengan sudut α_1 dan α_2 terhadap sumbu *strut*, atau pada satu arah dengan sudut α_1 terhadap sumbu *strut*. Bila tulangan dipasang hanya pada satu arah, nilai α_1 paling tidak 40 derajat.	
23.6 - Pendetailan tulangan *strut*	**R23.6 - Pendetailan tulangan *strut***
23.6.1 Tulangan tekan pada *strut* harus sejajar dengan sumbu *strut* dan tertutup di sepanjang *strut* dengan sengkang ikat tertutup sesuai 23.6.3 atau oleh sengkang spiral sesuai 23.6.4.	**R23.6.1** Merujuk ke R23.4.1.
23.6.2 Tulangan tekan pada *strut* harus diangkurkan hingga mencapai f_s' pada muka atau zona nodal, dimana f_s' dihitung sesuai 23.4.1.	
23.6.3 Sengkang ikat tertutup yang menutup tulangan tekan pada *strut* harus memenuhi 25.7.2 dan pasal ini.	

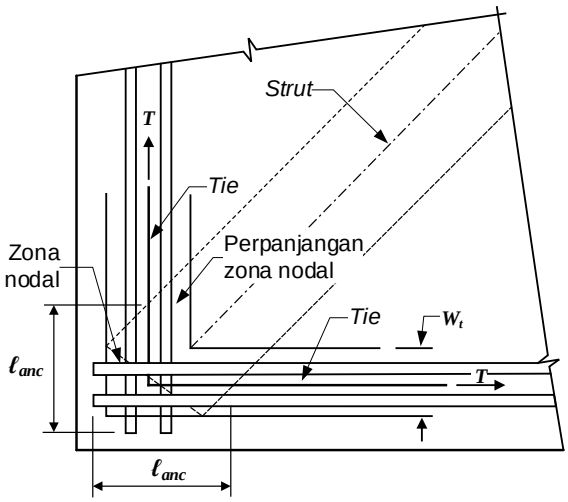
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
23.6.3.1 Spasi sengkang ikat tertutup, s, disepanjang *strut* tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) hingga c): a) Dimensi terkecil dari penampang *strut* b) $48d_b$ dari batang atau kawat yang digunakan pada tulangan sengkang ikat c) $16d_b$ dari tulangan tekan	
23.6.3.2 Sengkang ikat tertutup yang pertama harus diletakkan tidak lebih dari $0{,}5s$ dari muka zona nodal pada setiap bagian akhir *strut*.	
23.6.3.3 Sengkang ikat tertutup harus disusun sedemikian hingga sehingga setiap sudut dan tulangan longitudinal memiliki penumpu lateral yang berasal dari ikat silang atau sudut sengkang ikat dengan sudut tidak lebih dari 135 derajat dan tulangan longitudinal tidak lebih jauh 150 mm pada setiap sisi sepanjang *tie* dari batang penumpu lateral tersebut.	**R23.6.3.3** Merujuk ke R25.7.2.3.
23.6.4 Spiral yang menutup tulangan tekan pada *strut* harus memenuhi 25.7.3.	
23.7 - Kekuatan *tie*	
23.7.1 Tulangan *tie* dapat berupa tulangan nonprategang atau prategang.	
23.7.2 Kekuatan tarik nominal dari *tie*, F_{nt}, harus dihitung sebagai berikut: $F_{nt} = A_{ts} f_y + A_{tp}(f_{se} + \Delta f_p)$ (23.7.2) dimana $(f_{se} + \Delta f_p)$ tidak boleh melebihi f_{py}, dan A_{tp} adalag nol untuk komponen struktur nonprategang.	
23.7.3 Pada Pers. (23.7.2), Δf_p boleh diambil sama dengan 420 MPa untuk tulangan prategang dengan lekatan dan 70 MPa untuk tulangan prategang tanpa lekatan. Nilai Δf_p yang lebih tinggi boleh diambil jika dibuktikan dari analisis.	
23.8 - Pendetailan tulangan *tie*	**R23.8 - Pendetailan tulangan *tie***
23.8.1 Titik berat dari tulangan *tie* harus sesuai dengan sumbu *tie* yang diasumsikan pada model *strut-and-tie.*	**R23.8.1** Lebar *tie* efektif yang diasumsikan dalam desain, w_t, bisa bervariasi antara batasan-batasan berikut, tergantung pada distribusi tulangan *tie*:

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	a) Apabila tulangan-tulangan *tie* berada dalam satu lapisan, lebar *tie* yang efektif bisa diambil sebagai diameter dari tulangan *tie* ditambah dua kali selimut beton menuju permukaan dari tulangan-tulangan tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar R23.2.6b(i). b) Batas atas yang praktis dari lebar *tie* dapat diambil sebagai lebar yang sesuai dengan lebar hidrostatik zona nodal, terhitung seperti $W_{t,max} = F_{nt}/(f_{ce}b_s)$, dimana f_{ce} dihitung untuk zona nodal sesuai dengan 23.9.2. Apabila lebar *tie* melebihi nilai dari a), tulangan *tie* harus didistribusikan secara merata kira-kira sepanjang lebar dan ketebalan *tie*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar R23.2.6b(ii).
23.8.2 Tulangan *tie* harus diangkur dengan alat mekanis, alat angkur pascatarik, kait standar atau penyaluran lurus tulangan sesuai dengan 23.8.3.	**R23.8.2** Pengangkuran *tie* sering membutuhkan perhatian khusus seperti pada zona nodal korbel atau zona nodal berdekatan dengan tumpuan eksterior pada balok tinggi. Tulangan-tulangan dalam *tie* harus diangkur sebelum keluar dari zona nodal di titik yang didefinisikan oleh perpotongan pusat tulangan dalam tie dan perpanjangan garis kerja *strut* maupun daerah tumpuan. Panjang ini adalah ℓ_{anc}. Dalam Gambar R23.2.6b hal ini terjadi bila garis perpanjangan zona nodal terpotong oleh pusat tulangan tie. Beberapa pengangkuran dapat dicapai dengan meneruskan tulangan melalui zona nodal seperti ditunjukkan dalam Gambar R23.2.6a(iii) dan R23.2.6b, dan penyaluran melewati zona nodalnya. Apabila *tie* diangkurkan menggunakan kait 90 derajat, kait harus dikekang dalam tulangan untuk menghindari retak sepanjang bagian luar kait di daerah tumpuan. Pada balok tinggi, batang *hairpin* disambung dengan tulangan *tie* bisa digunakan untuk mengangkur gaya *tie* pada tumpuan eksterior, asal lebar balok cukup besar untuk menampung batang-batang tersebut. Gambar R23.8.2 menunjukkan dua batang *tie* terangkur pada zona nodal. Penyaluran dibutuhkan dimana pusat tie memotong garis perpanjangan zona nodal.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	Panjang penyaluran tulangan *tie* bisa dikurangi melalui kait, batang berkepala, angkur mekanis, tambahan kekangan, atau dengan penyambungan dengan lapisan batang-batang yang lebih kecil.
23.8.3 Tulangan *tie* harus diteruskan sesuai dengan persyaratan a) atau b): a) Perbedaan anatara gaya *tie* pada satu sisi dari sebuah titik dan gaya *tie* pada sisi lainnya harus diteruskan pada zona nodal. b) Pada zona nodal yang mengangkurkan satu atau lebih *ties*, gaya *tie* pada setiap arah harus diteruskan apa titik berat tulangan melebihi perpanjangan zona nodal.	 **Gambar. R23.8.2 – Zona perpanjangan nodal menjangkar dua *tie*** **R23.9 - Kekuatan zona nodal**
23.9 - Kekuatan zona nodal **23.9.1** Kekuatan nominal dari zona nodal, F_{nn}, harus dihitung dengan: $$F_{nn} = f_{ce} A_{nz} \quad (23.9.1)$$ dimana f_{ce} ditetapkan dalam 23.9.2. atau 23.9.3 dan A_{nz} diberikan dalam 23.9.4 atau 23.9.5.	
23.9.2 Kekuatan tekan efektif beton pada muka dari zona nodal, f_{ce}, harus dihitung dengan: $$f_{ce} = 0,85 \beta_n f_c' \quad (23.9.2)$$ dimana β_n harus di sesuai Tabel 23.9.2.	**R23.9.2** Nodal dalam model dua dimensi bisa diklasifikasikan seperti ditunjukkan dalam Gambar R23.2.6c. Kekuatan tekan efektif dari zona nodal diberikan oleh Pers. (23.9.2) dimana nilai β_n diberikan dalam Tabel 23.9.2. Nilai β_n yang lebih rendah mencerminkan peningkatan derajat gangguan di zona nodal karena inkompatibilitas regangan tarik dalam *tie* dan regangan tekan dalam *strut*. Tegangan pada setiap zona nodal atau pada setiap penampang yang melewati zona nodal tidak boleh melebihi nilai yang diberikan oleh Pers. (23.9.2).

Tabel 23.9.2 – Koefisien zona nodal β_n

Konfigurasi zona nodal	β_n	
Zona nodal yang dibatasi oleh *strut*, area tumpuan atau keduanya	1,0	(a)
Zona nodal yang mengangkurkan satu *tie*	0,80	(b)
Zona nodal yang mengangkurkan dua atau lebih *tie*	0,60	(c)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
23.9.3 Jika tulangan pengekangan dipasang pada zona nodal dan efeknya tercatat oleh pengujian dan analisis, maka diizinkan untuk meningkatkan nilai f_{ce} ketika menghitung F_{nn}.	
23.9.4 Luasan dari setiap muka zona nodal, A_{nz}, harus diambil nilai terkecil antara poin a) dan b): a) Luasan dari muka zona nodal yang tegak lurus dengan garis aksi dari F_{us} b) Luasan dari penampang zona nodal yang tegak lurus dengan garis aksi dari resultan gaya yang bekerja pada penampang tersebut	**R23.9.4** Apabila tegangan-tegangan dalam semua *strut* yang bertemu pada satu nodal adalah sama, zona nodal hidrostatik dapat digunakan. Muka dari zona nodal seperti itu tegak lurus terhadap sumbu *strut*, dan lebar dari muka zona nodal adalah proporsional terhadap gaya dalam *strut*. Tegangan-tegangan pada muka nodal yang tegak lurus terhadap sumbu *strut* dan *tie* adalah tegangan-tegangan utama, dan 23.9.4a) dapat digunakan. Apabila, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar R23.2.6b(ii), muka dari zona nodal tidak tegak lurus terhadap sumbu *strut*, maka akan ada tegangan geser dan tegangan normal pada muka zona nodal. Biasanya, tegangan-tegangan ini digantikan dengan tegangan normal (tegangan tekan utama) bekerja pada luas penampang A_{nz}, yang diambil tegak lurus terhadap sumbu *strut* seperti yang diberikan dalam 23.9.4(a).
23.9.5 Dalam model *strut* dan *tie* tiga dimensi, luas pada tiap muka zona nodal harus sekurang-kurangnya yang diberikan dalam 23.9.4, dan bentuk pada tiap muka zona nodal harus serupa dengan bentuk proyeksi dari ujung *strut* sesuai muka zona nodal.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 24 – PERSYARATAN KEMAMPUAN LAYAN

24.1 - Ruang lingkup

24.1.1 Pasal ini digunakan sebagai pedoman perencanaan elemen struktur agar memenuhi persyaratan minimum kemampuan layan, termasuk kasus a) hingga d):

a) Defleksi akibat beban kerja gravitasi (24.2)
b) Distibusi tulangan lentur pada pelat satu arah dan balok untuk mengontrol retak (24.3)
c) Tulangan susut dan suhu (24.4)
d) Tegangan izin untuk komponen lentur prategang (24.5)

R24.1 - Ruang lingkup

Pasal ini menjelaskan tentang persyaratan kemampuan layan yang dirujuk dalam pasal-pasal lain dalam standar ini, serta dapat digunakan sebagai kriteria penentuan kinerja sebuah elemen struktur. Pasal ini tidak dapat berdiri sendiri sebagai sebuah persyaratan kemampuan layan yang lengkap dan kompilasi kompak untuk desain komponen-komponen struktur.

24.2 - Defleksi akibat beban gravitasi tingkat layan

24.2.1 Komponen struktur lentur harus didesain agar memiliki kekakuan yang cukup sehingga dapat membatasi terjadinya defleksi atau deformasi yang dapat berpengaruh negatif pada kekuatan atau kemampuan layan suatu struktur.

R24.2 - Defleksi akibat beban gravitasi tingkat layan

Pasal ini hanya membahas defleksi atau deformasi yang terjadi akibat beban layan. Apabila memperhitungkan defleksi sebagai fungsi waktu, maka hanya beban mati dan bagian dari beban-beban lain yang bersifat tetap saja yang perlu diperhitungkan.

Ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengontrol defleksi (Sabnis et al. 1974). Untuk pelat satu arah dan balok nonprategang, termasuk elemen komposit, ketebalan minimum yang diatur dalam 7.3.1 dan 9.3.1 dianggap memenuhi persyaratan standar ini untuk komponen struktur yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar. Untuk konstruksi non-prategang dua arah, ketebalan minimum diatur dalam 8.3.1 dianggap memenuhi persyaratan standar ini.

Untuk komponen nonprategang yang tidak memenuhi persyaratan ketebalan minimum, untuk komponen nonprategang satu arah yang memikul atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar dan komponen lentur prategang, defleksi harus dihitung berdasarkan 24.2.3 hingga 24.2.5. Lendutan maksimum yang dihitung dibatasi oleh nilai yang tercantum dalam Tabel 24.2.2.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
24.2.2 Lendutan yang dihitung menurut 24.2.3 hingga 24.2.5 tidak boleh melebihi batasan pada Tabel 24.2.2.	**R24.2.2** Harus dicatat bahwa pembatasan-pembatasan yang diberikan dalam Tabel 24.2.2 hanya terkait dengan elemen-elemen nonstruktural yang yang didukung atau dihubungkan. Untuk struktur-struktur tersebut dimana komponen-komponen strukturalnya sepertinya dipengaruhi oleh lendutan atau deformasi komponen-komponen struktur dimana komponen-komponen struktural tersebut dihubungkan dengan cara sedemikian rupa sehingga memberikan pengaruh yang merugikan kekuatan struktur tersebut, lendutan-lendutan dan gaya-gaya yang ditimbulkan tersebut harus dipertimbangkan secara eksplisit dalam analisis dan desain struktur seperti yang disyaratkan oleh 24.2.1 (ACI 209R-92). Bila lendutan jangka panjang dihitung, bagian lendutan sebelum penyatuan elemen-elemen nonstruktural boleh dikurangi. Dalam melakukan hal ini penggunaan koreksi dapat dilakukan dengan kurva dalam Gambar R24.2.4.1 untuk komponen-komponen struktur dengan ukuran dan betuk yang umum.

Tabel 24.2.2 – Perhitungan lendutan izin maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$\ell/180$[1]
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$\ell/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup[2]	$\ell/480$[3]
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$\ell/240$[4]

[1]Batasan tidak dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap genangan air. Genangan air harus diperiksa berdasarkan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat genangan air, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang akibat beban tetap,lawan lendut, toleransi konstruksi, dan keandalan sistem drainase.
[2]Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan 24.2.4, tapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum pemasangan elemen nonstruktural. Besarnya nilai lendutan ini harus dihitung berdasarkan data teknis yang dapat diterima terkait dengan karakteristik hubungan waktu-lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.
[3]Batasan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau disatukan telah dilakukan.
[4]Batasan tak boleh melebihi batasan toleransi yang disediakan untuk elemen nonstruktural.

24.2.3 *Perhitungan lendutan seketika*	**R24.2.3** *Perhitungan lendutan seketika*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
24.2.3.1 Lendutan seketika harus dihitung dengan metode dan formula untuk lendutan elastis, dengan mempertimbangkan pengaruh retak dan tulangan pada kekakuan penampang.	**R24.2.3.1** Dalam perhitungan lendutan seketika komponen struktur prismatik tak retak, metode atau formula umum untuk lendutan elastis bisa digunakan dengan nilai $E_c I_g$ konstan sepanjang komponen struktur. Akan tetapi, bila komponen struktur diperkirakan mengalami retak pada sebuah penampang atau lebih, atau bila tinggi penampang bervariasi sepanjang bentangnya, perhitungan yang lebih teliti diperlukan.
24.2.3.2 Pengaruh variasi properti penampang seperti *haunch*, harus dipertimbangkan dalam perhitungan lendutan.	
24.2.3.3 Lendutan pada sistem pelat dua arah harus dihitung dengan memperhatikan bentuk dan ukuran panel pelat, kondisi perletakan dan sifat kekangan pada ujung pelat.	**R24.2.3.3** Perhitungan lendutan pelat dua arah adalah rumit, bahkan bila perilaku elastik linear diasumsikan. Untuk lendutan seketika, nilai E_c dan I_e yang ditetapkan secara berurutan dalam 24.2.3.4 dan 24.2.3.5 boleh digunakan (ACI 209R). Akan tetapi, prosedur lain dan nilai lain dari kekakuan $E_c I_e$ boleh digunakan apabila menghasilkan lendutan mendekati nilai yang diperoleh dari hasil uji yang komprehensif.
24.2.3.4 Modulus elastisitas E_c diizinkan untuk dihitung sesuai 19.2.2.	
24.2.3.5 Untuk komponen-komponen nonprategang, momen inersia efektif I_e dihitung berdasarkan Pers.(24.2.3.5a) kecuali bila didapatkan melalui alaisis lebih rinci dan teliti. Namun demikian I_e tak boleh melebihi I_g $$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (24.2.3.5a)$$ Dengan M_{cr} dihitung sebagai: $$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (24.2.3.5b)$$	**R24.2.3.5** Momen inersia efektif yang dibahas dalam standar ini dan dikembangkan oleh Branson (1965) ditetapkan cukup teliti untuk menentukan perkiraan lendutan (ACI Committee 435 1966, 1968; ACI 209R). Momen inersia efektif I_e dikembangkan untuk menyediakan peralihan antara batas atas dan batas bawah I_g dan I_{cr} sebagai fungsi rasio momen M_{cr}/M_a
24.2.3.6 Untuk pelat satu arah dan balok menerus I_e dapat diambil sebagai rata-rata dari nilai-nilai yang diperoleh dalam Pers. (24.2.3.5a) untuk penampang momen negatif dan positif kritikal.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
24.2.3.7. Untuk pelat satu arah dan balok prismatik I_e dapat diambil dari nilai yang diperoleh dalam Pers. (24.2.3.5a) di tengah bentang untuk bentang sederhana dan menerus, dan di daerah tumpuan untuk balok kantilever.	**R24.2.3.7** Penggunaan properti penampang di tengah bentang untuk komponen struktur prismatik menerus dianggap cukup memadai dalam perhitungan pendekatan terutama karena kekakuan tengah bentang (termasuk pengaruh retak) mempunyai pengaruh dominan pada lendutan sebagaimana ditunjukkan oleh ACI 435.5R, ACI Committee 435 (1979) dan Sabnis et al. (1974).
24.2.3.8 Untuk pelat dan balok prategang kelas U seperti didefinisikan dalam 24.5.2 diizinkan untuk menghitung lendutan berdasarkan I_g.	**R24.2.3.8** Lendutan seketika bagi komponen struktur beton prategang kelas U dapat dihitung dengan metode dan formula biasa untuk lendutan elastis menggunakan momen inersia penampang bruto (tak retak) dan modulus elastisitas beton ditetapkan dalam 19.2.2.1.
24.2.3.9. Untuk pelat dan balok prategang kelas T dan kelas C seperti yang didefinisikan dalam 24.5.2 lendutan harus dihitung berdasarkan analisis transformasi penampang retak. Diizinkan untuk mendasari perhitungan lendutan pada hubungan momen-lendutan bilinier atau I_e berdasarkan Pers. (24.2.3.5a), dimana M_{cr} dihitung berdasarkan: $$M_{cr} = \frac{(f_r + f_{pe})I_g}{y_t} \qquad (24.2.3.9)$$	**R24.2.3.9** Komponen struktur lentur prategang kelas C dan T didefinisikan dalam 24.5.2. PCI *Design Handbook* (PCI MNL 120). memberikan perhitungan lendutan menggunakan hubungan momen-lendutan bilinear, dan menggunakan momen inersia efektif. Mast (1998) memberikan informasi tambahan tentang lendutan komponen struktur beton prategang yang retak. Shaikh and Branson (1970) menunjukkan bahwa metode I_e dapat digunakan utnuk menghitung lendutan komponen struktur prategang kelas C dan kelas T dibebani di atas beban retak. Dalam kasus ini, momen retak harus memperhitungkan pengaruh gaya pategang seperti diberikan dalam Pers. (24.2.3.9). Sebuah metode untuk memperkirakan pengaruh tulangan tarik nonprategang dalam mengurangi lawan-lendut rangkak juga diberikan oleh Shaikh and Branson (1970) dengan aproksimasi formula diberikan dalam ACI 209R dan Branson (1970).
24.2.4 *Perhitungan lendutan jangka panjang*	**R24.2.4** *Perhitungan lendutan jangka panjang*
24.2.4.1 *Komponen non prategang* **24.2.4.1.1** Kecuali diperoleh dari perhitungan lebih rinci, tambahan lendutan jangka panjang akibat susut dan rangkak untuk komponen lentur dapat dihitung	**R24.2.4.1** *Komponen non prategang* – Susut dan rangkak mengakibatkan lendutan jangka panjang tambahan terhadap lendutan elastis akibat beban ketika pertama kali beban diberikan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

sebagai perkalian lendutan seketika yang disebabkan oleh beban tetap dengan faktor λ_Δ

$$\lambda_\Delta = \frac{\xi}{1+50\rho} \qquad (24.2.4.1.1)$$

24.2.4.1.2 Dalam Pers. (24.2.4.1.1), ρ' dihitung pada tengah bentang untuk bentang sederhana dan menerus, dan di daerah tumpuan untuk balok kantilever.

24.2.4.1.3 Dalam Pers. (24.2.4.1.1) faktor ketergantungan waktu untuk beban tetap ξ dihitung dari Tabel 24.2.4.1.3.

Tabel 24.2.4.1.3 – Faktor pengaruh waktu untuk beban tetap

Durasi beban tetap, dalam bulan	Faktor pengaruh waktu ξ
3	1,0
6	1,2
12	1,4
60 atau lebih	2,0

PENJELASAN

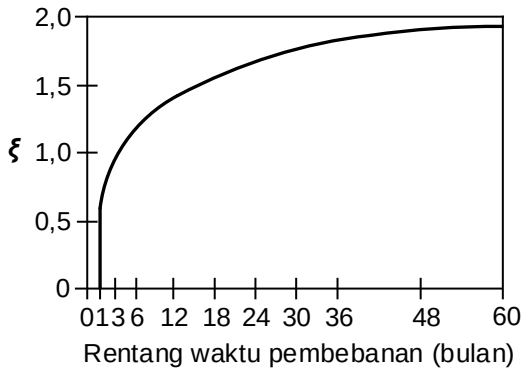
Penurunan ini dipengaruhi suhu, kelembaban, kondisi perawatan (*curing*), umur pada waktu pembebanan, kuantitas tulangan tekan dan besarnya beban tetap. Rumusan yang diberikan dalam pasal ini dianggap memuaskan untuk penggunaan dengan prosedur standar ini untuk perhitungan lendutan seketika dan dengan batasan-batasan yang diberikan dalam Tabel 24.2.2. Ledutan yang dihitung dalam pasal ini merupakan lendutan jangka panjang tambahan akibat beban mati dan sebagian dari beban lain yang bekerja secara berkesinambungan dan dalam jangka waktu yang cukup untuk mengakibatkan lendutan tergantung waktu yang siknifikan.

Pers. 24.2.4.1.1 dikembangkan Branson (1971). Dalam Pers. 24.2.4.1.1, bagian **$(1+50\rho')$** adalah untuk memperhitungkan pengaruh tulangan tekan yang mengurangi pengaruh lendutan jangka panjang. **ξ=2,0** mencerminkan faktor ketergantungan waktu nominal untuk lama pembebanan 5 tahun. Kurva dalam Gambar R24.2.4.1 boleh digunakan untuk mementukan besaran ξ bila pembebanan kurang dari 5 tahun.

Bila pengaruh susut dan rangkak akan di analisis secara terpisah, rumusan pendekatan Branson (1965, 1971, 1977) dan ACI Committee 435 (1966) dapat digunakan.

Karena ketersediaan data lendutan jangka panjang untuk pelat dua arah adalah terbatas untuk menjustifikasi prosedur yang lebih rinci, perhitungan tambahan lendutan jangka panjang untuk pelat dua arah berdasarkan Pers. (24.2.4.1.1) adalah disyaratkan untuk menggunakan pengali yang diberikan dalam 24.2.4.1.3.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R24.2.4.1 – Faktor pengali untuk lendutan jangka panjang**
24.2.4.2 *Komponen struktur prategang*	**R24.2.4.2** *Komponen struktur prategang*
24.2.4.2.1 Lendutan jangka panjang tambahan untuk komponen struktur prategang harus dihitung dengan memeperhatikan pengaruh tegangan dalam beton dan tulangan akibat beban tetap, dan pengaruh-pengaruh susut dan rangkak beton dan relaksasi baja prategang.	**R24.2.4.2.1** Perhitungan lendutan jangka panjang komponen lentur beton prategang adalah rumit. Perhitungan harus mempertimbangkan tidak hanya lendutan yang bertambah akibat tegangan lentur, tetapi juga lendutan jangka panjang tambahan yang dihasilkan dari perpendekan tergantung waktu komponen struktur lentur. Komponen struktur beton prategang memendek lebih besar daripada komponen struktur nonprategang serupa akibat rangkak aksial oleh pratekanan pada pelat atau balok. Rangkak ini bersama dengan susut mengakibatkan perpendekan komponen struktur lentur yang signifikan yang berlangsung untuk beberapa tahun setelah konstruksi dan harus diperhitungkan dalam desain. Perpendekan ini cenderung mengurangi tegangan tarik dalam tendon prategang, yang mengurangi pratekanan dalam komponen struktur dan oleh karenanya mengakibatkan peningkatan lendutan jangka panjang. Faktor lain yang dapat mempengaruhi lendutan jangka panjang komponen struktur lentur prategang adalah beton atau pasangan bata (masonry) didekatnya yang tidak diprategang dalam arah komponen struktur prategang. Ini dapat berupa pelat nonprategang dalam arah balok ynag berdekatan dengan balok prategang atau sistem pelat nonprategang. Sebagaimana komponen struktur prategang cenderung mengalamisusut dan rangkak yang lebih

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	besar dari beton nonprategang didekatnya, struktur tersebut akan cenderung mencapai kompatibilitas terhadap pengaruh perpendekannya. Hal ini mengakibatkan pengurangan pratekanan dalam komponen struktur prategang ini dapat berlangsung selama bertahun-tahun dan akan mengakibatkan lendutan jangka panjang tambahan serta meningkatkan tegangan tarik dalam komponen struktur prategang. Sebarang metode yang sesuai untuk menghitung lendutan jangka panjang komponen struktur prategang boleh dipakai, asalkan semua pengaruhnya diperhitungkan. Pedoman dapat ditemukan dalam ACI 209R, ACI Committee 435 (1963), Branson et al. (1970) dan Ghali dan Favre (1986).
24.2.5 *Perhitungan lendutan pada konstruksi beton komposit* **25.2.5.1** Bila komponen struktur lentur beton komposit disangga selama waktu konstruksi, sehingga setelah penyangga sementara tadi dilepas, seluruh beban mati dipikul oleh keseluruhan penampang komposit, maka untuk perhitungan lendutan, komponen struktur komposit tersebut boleh dianggap setara dengan komponen struktur monolit. **24.2.5.2** Bila elemen lentur beton komposit tidak disangga selama waktu konstruksi, maka besaran dan lama pembebanan sebelum dan sesudah aksi komposit bekerja secara efektif perlu diperhitungkan dalam penentuan lendutan jangka panjang. **24.2.5.3** Lendutan yang dipengaruhi perbedaan rangkak antara komponen pracetak dan komponen cor ditempat, atau adanya aksial rangkak dalam komponen prategang, harus diperhitungkan dalam desain.	**R24.2.5** *Perhitungan lendutan pada konstruksi beton komposit* – Komponen struktur beton komposit didesain agar memenuhi kekuatan geser horizontal berdasarkan 16.4. Karena terbatasnya pengujian untuk mempelajari lendutan seketika dan jangka panjang komponen struktur komposit maka persyaratan-persyaratan yang diberikan pada pasal ini didasarkan pada kebijakan Komite ACI 318 serta pengalaman lapangan. Dalam 22.3.3.3 dinyatakan bahwa tak ada perbedaan antara komponen struktur yang ditopang (*shored*) atau yang tidak ditopang (*unshored*). Hal tersebut terkait dengan perhitungan kekuatan bukan lendutan. Namun demikian dokumen konstruksi harus dinyatakan dengan jelas bahwa desain beton komposit tersebut berdasarkan konstruksi dengan atau tanpa penopang sebagaimana disyaratkan dalam 26.11.1.1.
24.3 - Distribusi tulangan lentur pada pelat satu arah dan balok **24.3.1** Tulangan dengan lekatan harus didistribusikan untuk mengontrol retak di daerah tarik tarik pelat nonprategang dan pretegang kelas C dan balok-balok ditulangi untuk satu arah lentur saja.	**R24.3 - Distribusi tulangan lentur pada pelat satu arah dan balok** **R24.3.1** Bila beban layan menghasilkan tegangan tinggi dalam tulangan, retak diperkirakan terjadi dan langkah-langkah tertentu harus diambil dalam pendetailan tulangan untuk membatasi retak tersebut.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

24.3.2 Spasi tulangan dengan lekatan yang paling dekat dengan serat tertarik tak boleh melebihi batasan dalam Tabel 24.3.2 dimana c_c adalah jarak terkecil antara permukaan beton ke tulangan ulir dan tulangan prategang. Perhitungan tegangan dalam tulangan ulir f_s dan perubahan tegangan dalam besi prategang Δf_{ps} ditentukan berdasarkan 24.3.2.1 dan 24.3.2.2.

Tabel 24.3.2 – Spasi maksimum tulangan terlekat pada pelat satu arah dan balok nonprategang dan prategang kelas C

Jenis tulangan	Spasi maksimum s	
Tulangan ulir atau *kawat*	Terkecil dari:	$380\left(\frac{280}{f_s}\right)-2,5c_c$
		$300\left(\frac{280}{f_s}\right)$
Tulangan prategang terlekat	Terkecil dari:	$\left(\frac{2}{3}\right)\left[380\left(\frac{280}{\Delta f_{ps}}\right)-2,5c_c\right]$

PENJELASAN

Untuk alasan durabilitas dan penampilan, banyak retak rambut lebih diterima daripada sedikit retak besar. Praktik pendetailan membatasi spasi tulangan dinilai cukup memadai dalam pembatasan retak bila tulangan mutu 420 digunakan.

Penelitian laboratorium yang ekstensif (Gergely and Lutz 1968; Kaar 1966; Base et al. 1966) melibatkan tulangan ulir membuktikan bahwa lebar retak saat beban layan proporsional terhadap tegangan tulangan. Variable signifikan yang mencerminkan pendetailan tulangan yang berpengaruh adalah tebal selimut dan spasi tulangan.

Lebar retak bervariasi cukup besar, bahkan dalam laboratorium yang sangat canggih serta dipengaruhi susut dan faktor tergantung waktu lainnya. Peningkatan kontrol retak diperoleh bila tulangan disebar merata pada daerah tegangan tarik maksimum. Beberapa tulangan dengan spasi menengah adalah jauh lebih efektif daripada hanya satu atau dua tulangan berdiameter besar untuk luasan yang sama.

R24.3.2 Spasi tulangan dibatasi untuk mengontrol retak (Beeby 1979; Frosch 1999; ACI Committee 318 1999). Untuk kasus balok dengan tulangan mutu 420 dan selimut beton bersih 50 mm terhadap tulangan utama dengan f_s **= 280 MPa**, spasi tulangan maksimum adalah 250 mm.

Lebar retak dalam struktur sangat bervariasi. Ketentuan-ketentuan standar untuk spasi tulangan adalah dimaksudkan membatasi retak permukaan yang dianggap masih dapat diterima tetapi mungkin bervariasi pada struktur yang ditinjau .

Perilaku retak pada korosi tulangan masih kontroversi. Penelitan (Darwin et al. 1985 and Oesterle 1997) menunjukkan bahwa korosi tidak secara jelas terkait dengan lebar retak permukaan dalam rentang yang diperoleh secara normal dari tegangan tulangan pada tingkat beban layan. Untuk alasan tersebut, standar ini tidak membedakan antara paparan interior dan eksterior.

Hanya tulangan tarik yang dekat dengan daerah tarik terbesar dipertimbangkan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR			PENJELASAN
		$\left(\frac{2}{3}\right)\left[300\left(\frac{280}{\Delta f_{ps}}\right)\right]$	dalam penentuan c_c untuk perhitungan persyaratan spasi. Untuk tulangan prategang yang memiliki lekatan lebih rendah daripada tulangan ulir, misalnya *strand*, faktor efektif sebesar 2/3 dari nilai yang digunakan dalam Tabel 24.3.2 bisa digunakan.
Kombinasi antara tulangan ulir atau kawat dan tulangan prategang terlekat	Terkecil dari:	$\left(\frac{5}{6}\right)\left[380\left(\frac{280}{\Delta f_{ps}}\right)-2{,}5c_c\right]$	Untuk komponen struktur pascatarik yang didesain sebagai kompenen yang retak, disarankan penggunaan tulangan ulir untuk mengontrol lebar retak dengan menggunakan Tabel 24.3.2 dengan tulangan ulir atau *kawat*. Tulangan terlekat yang disyaratkan oleh ketentuan lain dalam standar ini boleh digunakan sebagai tulangan kontrol retak.
		$\left(\frac{5}{6}\right)\left[300\left(\frac{280}{\Delta f_{ps}}\right)\right]$	

24.3.2.1 Tegangan f_s dalam tulangan ulir yang paling dekat pada permukaan tegangan tarik akibat beban layan harus dihitung berdasarkan momen tidak terfaktor, atau f_s diizinkan diambil sebesar $(2/3)f_y$.

24.3.2.2 Perubahan tegangan, Δf_{ps}, pada tulangan prategang dengan lekatan akibat beban layan harus sama dengan tegangan yang dihitung menurut analisis penampang retak dikurangi penurunan tegangan pratekanan f_{dc}. Diizinkan untuk mengambil nilai f_{dc} sama dengan tengangan efektif tulangan prategang f_{se}. Nilai Δf_{ps} tak boleh lebih dari 250 MPa. Bila Δf_{ps} lebih kecil dari 140 MPa, batasan spasi tulangan dalam Tabel 24.3.2 tidak perlu dipenuhi.

R24.3.2.2 Penentuan tegangan pratekanan f_{dc} yang sama dengan tegangan efektif f_{se} dinilai cukup aman. Batasan maksimum Δf_{ps} sebesar 250 MPa dimaksudkan untuk menyamakan terhadap tegangan izin tulangan mutu 420 **(f_s = 280 MPa)**. Pengecualian komponen-komponen struktur dengan Δf_{ps} yang lebih kecil dari 140 MPa menunjukkan bahwa kebanyakan struktur yang didesain dengan metode ASD dengan tegangan tulangan yang rendah sehingga memberikan retak lentur yang terjadi sangat terbatas.

24.3.3 Bila terdapat hanya satu tulangan dengan lekatan, *strand* pratarik, atau tendon dengan lekatan terdekat dengan serat tarik terjauh, lebar muka tarik terjauh tak boleh melebihi s yang ditentukan berdasarkan Tabel 24.3.2.

24.3.4 Bila sayap balok T tertarik, sebagian tulangan tarik lentur terlekat harus didistribusikan sepanjang lebar efektif sayap balok T sesuai 6.3.2, tapi tak boleh melampaui $\ell_n/10$. Bila lebar efektif sayap melebihi $\ell_n/10$ perlu tulangan longitudinal terlekat tambahan dibagian terluar sayap.

R24.3.4 Pada balok T, distribusi tulangan momen negatif untuk kontrol retak harus memperhatikan dua pertimbangan: (1) spasi tulangan yang lebar sepanjang lebar efektif sayap bisa mengakibatkan retak lebar pada pelat dekat badan dan (2) spasi yang rapat dekat badan balok mengakibatkan bagian sayap daerah terluar di sisi kiri kanan badan tak terlindungi. Batasan sepersepuluh adalah untuk mencegah spasi tulangan terlalu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	lebar dan tulangan tambahan yang diperlukan untuk melindungi bagian luar sayap balok T.
24.3.5 Spasi tulangan lentur dengan lekatan pada pelat satu arah dan balok nonprategang dan partegang kelas C yang terkena *fatigue*, didesain kedap air, atau terpapar lingkungan korosif harus ditentukan berdasarkan investigasi dan tindakan pencegahan khusus untuk kondisi tersebut dan tidak boleh melebihi batasan 24.3.2.	**R24.3.5** Meskipun sejumlah studi telah dilakukan, bukti eksperimen yang jelas terkait lebar retak di atas ambang keamanan korosi tidak tersedia. Uji paparan membuktikan bahwa mutu beton, pemadatan dan selimut beton yang memadai lebih berpengaruh pada pencegahan korosi bila dibandingkan dengan lebar retak pada permukaan beton. Ketentuan-ketentuan terkait penebalan selimut beton dan durabilitas tulangan dibahas dalam 20.6 sedang aspek durabilitas beton tercantum dalam 19.3.
24.4 - Tulangan susut dan suhu **24.4.1** Tulangan susut dan suhu harus dipasang tegak lurus arah tulangan lentur untuk pelat satu arah berdasarkan 24.4.3 dan 24.4.4.	**R24.4 - Tulangan susut dan suhu** **R24.4.1** Tulangan susut dan suhu diperlukan pada arah yang tepat terhadap tulangan utama untuk mencegah retak dan menyatukan struktur agar dapat berfungsi sesuai dengan yang diasumsikan dalam desain. Ketentuan-ketentuan dalam pasal ini hanya berlaku untuk pelat satu arah, dan tidak digunakan pada pelat di atas tanah.
24.4.2 Bila perubahan bentuk akibat susut dan suhu adalah terkekang, pengaruh T harus dipertimbangkan sesuai 5.3.6.	**R24.4.2** Batasan luasan untuk tulangan susut dan suhu disyaratakan oleh 24.4.3.2 dianggap terpenuhi bila pergerakan susut dan suhu dibolehkan terjadi (tak terkekang). Bila dinding struktural dan kolom dapat memberikan kekangan yang signifikan pada perubahan bentuk akibat susut dan suhu, kekangan perubahan volume mengakibatkan tarik di pelat, perpindahan, gaya geser dan momen lentur di kolom atau dinding. Dalam kasus ini, perlu peningkatan jumlah tulangan pelat yang disyaratkan oleh Tabel 24.4.3.2 akibat pengaruh susut dan suhu dalam kedua arah utama (PCI MNL, Gilbert 1992). Tulangan atas dan bawah keduanya adalah efektif dalam mengontrol retak. Lajur kontrol selama waktu konstruksi, yang mengizinkan susut awal yang terjadi tanpa mengakibatkan peningkatan tegangan juga efektif dalam mengurangi retak yang disebabakan oleh kekangan. Pelat penutup (*topping*) juga mengalami tegangan tarik akibat perbedaan susut

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	antara beton penutup dan elemen pracetak atau dek metal (memiliki susut nol) yang harus diperhitungkan dalam penulangan pelat. Perhatian perlu diberikan pada regangan perlu untuk tulangan yang memotong *joint* elemen-elemen pracetak dimana kekangan mungkin akan dilepaskan.
24.4.3 *Tulangan nonprategang*	**R24.4.3** *Tulangan nonprategang*
24.4.3.1 Penggunaan tulangan ulir untuk menahan tegangan susut dan suhu harus memenuhi syarat dalam Tabel 20.2.2.4(a) dan harus sesuai dengan 24.4.3.2 hingga 24.4.3.5.	
24.4.3.2 Rasio luasan tulangan ulir susut dan suhu terhadap luas penampang beton bruto harus memenuhi batasan dalam Tabel 24.4.3.2	**R24.4.3.2** Rasio minimum tulangan ulir atau kawat las terhadap luas penampang beton bruto disyaratkan oleh 24.4.3.2 merupakan rumus empiris tapi telah terbukti efektif selama bertahun-tahun. Luas tulangan yang diperoleh dapat didistribusikan dekat bagian atas atau bawah pelat atau didisitribusikan di antara dua muka pelat dapat dianggap sesuai untuk kondisi tertentu.
Tabel 24.4.3.2 – Rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum terhadap luas penampang beton bruto	
24.4.3.3 Spasi tulangan susut dan suhu tak boleh melebihi nilai terkecil antara **5*h*** dan 450 mm.	
24.4.3.4 Pada semua penampang bila disyaratkan, tulangan ulir yang digunakan untuk menahan tegangan susut dan suhu harus mencapai tegangan tarik f_y.	**R24.4.3.4** Tulangan susut dan sushu pada sambungan lewatan dan pengankuran ujung harus mencapai tegangan tarik lelehnya sesuai Pasal 25.
24.4.3.5 Untuk pelat pracetak satu arah dan dinding pracetak prategang satu arah, tulangan susut dan suhu tidak diperlukan dalam arah tegak lurus tulangan lentur apabila a) hingga c) terpenuhi.	**R24.4.3.5** Untuk komponen beton pracetak, komponen beton prategang dengan lebar tak lebih dari 3,7 m seperti pelat berlubang, pelat solid, pelat dengan rusuk dengan spasi rapat umumnya tidak memerlukan tulangan susut dan suhu untuk menahan tegangan ke arah pendek. Hal ini juga berlaku untuk pelat lantai dan atap nonprategang pracetak. Bentang 3,7 m adalah bentang maksimum yang mana

Jenis tulangan	f_y MPa	Rasio tulangan minimum	
Batang ulir	< 420	0,0020	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0{,}0018 \times 420}{f_y}$
			0,0014

a) Komponen pracetak dengan lebar tak lebih dari 3,7 m
b) Komponen pracetak yang tidak terhubung secara mekanis yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
menyebabkan pengekangan kearah melintang c) Tulangan tidak dibutuhkan untuk menahan tegangan lentur ke arah melintang	tegangan susut dan suhu dapat mengembangkan besaran tulangan yang disyaratkan. Selain itu, banyak susut terjadi sebelum komponen struktur disatukan ke struktur. Saat kondisi struktur akhir, komponen-komponen struktur umumnya tak sekaku tersambung arah transversal seperti beton monolit, sehingga tegangan kekangan transversal akibat perubahan susut dan suhu berkurang secara signifikan. Keringanan ini tidak berlaku apabila tulangan diperlukan untuk menahan tegangan lentur seperti pada sayap tipis balok pracetak T tunggal dan T ganda.
24.4.4 *Tulangan prategang*	**R24.4.4** *Tulangan prategang*
24.4.4.1 Tulangan prategang yang berfungsi menahan tegangan susut dan suhu harus memenuhi Tabel 20.3.2.2 dan tegangan efektif setelah kehilangan tegangan harus memberikan setidaknya tegangan tekan rata-rata minimum sebesar 0,7 MPa pada penampang bruto beton.	**R24.4.4.1** Persyaratan tulangan prategang telah dipilih untuk memberikan gaya efektif pada pelat yang kurang lebih sama dengan gaya yang diperlukan untuk mencapai kelelehan tulangan nonprategang untuk susut dan suhu. Prategang sebesar 0,7 MPa pada penampang bruto beton telah sukses sebagai pedoman dalam berbagai proyek. Pengaruh perpendekan pelat harus diperiksa agar syarat layan struktur terpenuhi. Dalam kasus pada umumnya, tingkat prategang rendah yang direkomendasikan tidak menyebabkan kesulitan untuk mencapai pendetailain struktur yang cukup. Perhatian tambahan diperlukan pada kasus dimana pengaruh temperatur dan kekangan menjadi signifikan.
24.5 - Tegangan izin dalam komponen struktur lentur prategang	**R24.5 - Tegangan izin dalam komponen struktur lentur prategang**
24.5.1 *Umum*	**R24.5.1** *Umum*
24.5.1.1 Tegangan beton pada komponen struktur lentur prategang harus dibatasi sesuai 24.5.2 hingga 24.5.4 kecuali hasil pengujian atau analisis membuktikan bahwa kinerja tidak mengalami penurunan.	**R24.5.1.1** Tegangan izin pada beton terutama ditujukan untuk kemampuan layan, tetapi tidak ditujukan untuk menjamin terpenuhinya kekuatan desain yang harus diperiksa berdasarkan standar yang bersangkutan. Sebuah mekanisme yang diberikan dimana standar membatasi tegangan tidak perlu menghalangi pengembangan produk, material dan teknologi baru dalam konstruksi beton prategang. Persetujuan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

24.5.1.2 Untuk perhitungan tegangan saat transfer prategang pada beban layan dan beban retak, teori elastisitas harus digunakan dengan asumsi-asumsi a) dan b):

a) regangan berubah secara linier sebagai fungsi jarak terhadap garis netral sesuai dengan 22.2.1.
b) pada daerah retak, beton tidak dapat menahan tarik.

24.5.2 *Klasifikasi komponen struktur lentur prategang*

24.5.2.1 Komponen struktur lentur prategang dikelompokan sebagai kelas U, T atau C sesuai Tabel 24.5.2.1 berdasarkan tegangan tarik f_t pada serat terjauh di daerah tarik pratekanan akibat beban layan dengan menganggap penampang utuh.

Tabel 24.5.2.1 – Klasifikasi komponen lentur prategang berdasarkan f_t

Perilaku penampang	Kelas	Batasan f_t
Tidak retak	U[1]	$f_t \le 0,62\sqrt{f_c'}$
Peralihan antara tak retak dan retak	T	$0,62\sqrt{f_c'} < f_t \le 1,0\sqrt{f_c'}$
Retak	C	$f_t > 1,0\sqrt{f_c'}$

[1]Pelat dua arah prategang direncanakan sebagai kelas U dengan $f_t \le 0,50\sqrt{f_c'}$

PENJELASAN

desain terhadap kasus khusus di luar standar ini harus merujuk 1.10 standar ini.

R24.5.2 *Klasifikasi komponen struktur lentur prategang*

R24.5.2.1 Perilaku komponen struktur lentur prategang dikelompokkan menjadi 3 kelas. Komponen struktur Kelas U dianggap tidak mengalami retak. Komponen struktur Kelas C dianggap mengalami retak. Perilaku Kelas T adalah transisi antara retak dan tak retak. Persyaratan kemampuan layan untuk setiap kelas dirangkum dalam Tabel R24.5.2.1. Sebagai perbandingan tabel ini juga menampilkan persyaratan komponen struktur nonprategang.

Kelas tersebut berlaku untuk tendon terlekat dan tanpa lekatan, tapi sistem pelat dua arah prategang harus direncanakan sebagai kelas U dengan $f_t \le 0,50\sqrt{f_c'}$

Daerah tarik pratekanan didefinisikan sebagai bagian penampang yang menderita tarik lentur yang dihitung menggunakan properti penampang bruto yang terjadi akibat beban hidup dan mati tidak terfaktor, apabila gaya prategang tidak ada. Beton prategang umumnya didesain sedemikian rupa sehingga gaya prategang menimbulkan tekan di dearah ini, sehingga secara efektif mengurangi besaran tegangan tarik dalam beton. Untuk daerah rawan korosi yang didefinisikan mengalami serangan kimia (seperti air laut, industri dengan lingkungan korosif, dan gas buangan), retak pada beban layan menjadi kritikal untuk kinerja jangka panjang. Untuk mengantisipasi hal ini, selimut beton harus dipertebal berdasarkan 20.6.1.4, dan tegangan tarik

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	dalam beton dikurangi untuk mencegah kemungkinan retak saat beban layan.

Tabel R24.5.2.1 – Persyaratan kemampuan layan

	Prategang			Nonprategang
	Kelas U	Kelas T	Kelas C	
Asumsi perilaku	Tidak retak/ utuh	Peralihan antara utuh dan retak	Retak	Retak
Properti penampang untuk perhitungan tegangan saat beban layan	Penampang bruto 24.5.2.2	Penampang bruto 24.5.2.2	Penampang retak 24.5.2.3	Tanpa syarat
Tegangan izin saat transfer tegangan	24.5.3	24.5.3	24.5.3	Tanpa syarat
Tegangan tekan izin berdasarkan properti penampang utuh	24.5.4	24.5.4	Tanpa syarat	Tanpa syarat
Tegangan tarik saat beban layan 24.5.2.1	$\leq 0,62\sqrt{f_c'}$	$0,62\sqrt{f_c'} < f_t \leq 1,0\sqrt{f_c'}$	Tanpa syarat	Tanpa syarat
Dasar perhitungan lendutan	24.2.3.8, 24.2.4.2 Penampang bruto	24.2.3.9, 24.2.4.2 Penampang retak, bilinier	24.2.3.9, 24.2.4.2 Penampang retak, bilinier	24.2.3, 24.2.4.1 Momen inersia efektif
Kontrol retak	Tanpa syarat	Tanpa syarat	24.3	24.3
Perhitungan Δf_{ps} atau f_s untuk kontrol retak	-	-	Analisis penampang retak	$M/(A_s$ x panjang lengan momen), atau $2/3f_y$
Tulangan samping (*skin*) balok	Tanpa syarat	Tanpa syarat	9.7.2.3	9.7.2.3

24.5.2.2 Untuk komponen struktur kelas U dan T, tegangan saat beban layan diperhitungkan berdasarkan penampang utuh.

24.5.2.3 Untuk komponen kelas C, tegangan saat beban layan diperhitungkan berdasarkan penampang retak transformasi.

R24.5.2.3 Penampang prategang diklasifikasikan berdasarkan tegangan di daerah tarik dan dihitung berdasarkan asumsi penampang utuh. Bila ternyata penampang merupakan kelas C dengan $f_t > 1,0\sqrt{f_c'}$ penentuan tegangan akibat beban kerja didasarkan pada transformasi penampang retak. Metode perhitungan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tegangan penampang retak diulas oleh Mast (1998).
24.5.3 *Tegangan beton izin saat transfer gaya prategang*	**R24.5.3** *Tegangan beton izin saat transfer gaya prategang* - Tegangan beton pada tahapan ini disebabkan berat sendiri komponen struktur dan gaya prategang dikurangi kehilangan tegangan akibat angkur set, dan perpendekan elastis beton. Susut, rangkak dan relaksasi tidak diperhitungkan pada tahap ini. Tegangan ini berlaku untuk sistem prategang pratarik maupun pascatarik dengan penyesuaian kehilangan tegangan yang sesuai saat transfer gaya prategang.
24.5.3.1 Perhitungan tegangan tekan beton pada serat terjauh sesaat setelah transfer gaya prategang, tapi sebelum terjadi kehilangan tegangan jangka panjang, tak boleh melebihi batasan dalam Tabel 24.5.3.1.	**R24.5.3.1** Tegangan tekan izin pada saat transfer gaya prategang adalah tinggi pada penampang ujung komponen struktur gelagar sederhana, bila dibandingkan dengan lokasi lain. Hasil ini berdasarkan riset industri beton pracetak-prategang (Castro et al. 2004; Dolan and Kroln 2007; Hale and Russel 2006).

Tabel 24.5.3.1 – Batasan tegangan tekan beton sesaat setelah transfer gaya prategang

Lokasi	Tegangan tekan izin
Ujung dari balok tumpuan sederhana	0,70 f_{ci}'
Semua lokasi lainnya	0,60 f_{ci}'

24.5.3.2 Tegangan tarik beton terhitung pada serat terjauh sesaat setelah transfer, tapi sebelum terjadi kehilangan tegangan jangka panjang, tak boleh melebihi batasan dalam Tabel 24.5.3.2 kecuali diizinkan dalam 24.5.3.2.1.	**R24.5.3.2** Batasan tegangan tarik izin $0,25\sqrt{f_c'}$ dan $0,50\sqrt{f_c'}$ merujuk pada tegangan tarik di lokasi selain daerah daerah tarik yang sebelumnya tertekan. Bila tegangan tarik melampaui nilai izin, gaya tarik total di daerah tegangan tarik boleh dihitung dan dipasang penulangan sesuai gaya tersebut dengan nilai tegangan dibatasinya $0,6f'_y$, tapi tak melebihi 210 MPa. Pengaruh susut dan rangkak mulai mengurangi tegangan tarik hampir seketika, tapi sebagian tegangan tarik tetap berada di daerah ini setelah semua kehilangan tegangan prategang diperhitungkan.

Tabel 24.5.3.2 – Batasan tegangan tarik beton sesaat setelah transfer gaya prategang, tanpa penambahan tulangan terlekat di dearah tarik

Lokasi	Tegangan tarik izin
Ujung dari balok sederhana	$0,50\sqrt{f_c'}$
Semua lokasi lainnya	$0,25\sqrt{f_c'}$

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

24.5.3.2.1 Batasan pada Tabel 24.5.3.2 diizinkan untuk dilampaui bila tulangan dengan lekatan tambahan pada daerah tarik menahan total gaya tarik pada beton yang dihitung dengan menggunakan asumsi penampang utuh.

24.5.4 *Tegangan tekan beton izin pada kondisi beban layan*

24.5.4.1 Untuk komponen struktur kelas U dan T, tegangan tekan pada serat terjauh yang dihitung pada kondisi beban layan, setelah semua kehilangan prategang, tidakboleh melampaui batasan dalam Tabel 24.5.4.1.

Tabel 24.5.4.1 – Batasan tegangan tekan beton saat beban layan

Kondisi pembebanan	Tegangan tekan izin
Prategang + beban tetap	0,45 f_c'
Prategang + beban total	0,60 f_c'

PENJELASAN

R24.5.4 *Tegangan tekan beton izin pada kondisi beban layan*

R24.5.4.1 Batasan tegangan tekan izin sebesar $\mathbf{0,45}\,\boldsymbol{f_c'}$ telah ditetapkan secara konservatif untuk mengurangi kemungkinan kegagalan komponen struktur beton prategang akibat beban berulang. Batasan ini juga wajar menghindari terjadinya deformasi rangkak yang berlebihan. Pada tegangan yang lebih tinggi, regangan rangkak cenderung meningkat lebih cepat seiring dengan peningkatan tegangan yang bekerja.

Uji *fatigue* balok beton prategang menunjukan bahwa kegagalan tekan beton bukan merupakan kriteria pengendali. Karena itu batasan tegangan sebesar $\mathbf{0,6}\,\boldsymbol{f_c'}$ mengizinkan kenaikan sepertiga tegangan tekan yang diizinkan untuk komponen struktur yang dikenai beban hidup yang bergerak.

Beban hidup yang bersifat tetap tetap adalah sebagaian beban hidup layan yang bekerja secara berkesinambungan dalam periode waktu yang cukup lama untuk menyebabkan defleksi jangka panjang yang signifikan. Bila beban hidup dan beban mati yang bersifat tetap memberikan persentase yang besar terhadap beban layan total, maka batasan $\mathbf{0,45}\,\boldsymbol{f_c'}$ akan menentukan. Sebaliknya, bila porsi terbesar beban layan terdiri dari beban hidup sementara (bergerak), maka peningkatan batas tegangan sebesar $\mathbf{0,6}\,\boldsymbol{f_c'}$ akan menentukan.

Batas tegangan tekan $\mathbf{0,45}\,\boldsymbol{f_c'}$ untuk prategang ditambah beban tetap akan terus mengendalikan perilaku jangka panjang komponen struktur prategang.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 25 - DETAIL PENULANGAN

25.1 - Ruang lingkup

R25.1 - Ruang lingkup

Metode dan standar yang direkomendasikan untuk pembuatan gambar desain, detail tipikal, dan gambar pabrikasi dan pemasangan baja tulangan pada struktur beton bertulang diberikan dalam *ACI Detailing Manual* (SP-66).

Semua ketentuan-ketentuan dalam standar ini yang berkaitan dengan diameter (dan luas) batang tulangan, kawat, atau *strand* berdasarkan pada dimensi nominal tulangan seperti yang telah diberikan pada spesifikasi ASTM atau SNI yang sesuai. Dimensi nominal adalah ekuivalen luas lingkaran tulangan tersebut yang memiliki berat per kaki (30,48 cm) yang sama sesuai dengan rujukan ASTM atau SNI untuk ukuran batang, kawat, atau *strand*. Luas penampang tulangan adalah berdasarkan pada dimensi nominalnya.

25.1.1 Pasal ini berlaku pada detail penulangan, terdiri dari:

a) Spasi minimum
b) Kait standar, kait seismik, dan ikatan silang
c) Penyaluran tulangan
d) Sambungan lewatan
e) Bundel tulangan
f) Tulangan transversal
g) Angkur pascatarik dan kopler (*couplers*)

R25.1.1 Sebagai tambahan persyaratan pada pasal ini yang mempengaruhi pendetailan tulangan, pendetailan khusus pada komponen struktur tertentu telah diberikan pada pasal-pasal terkait dengan komponen struktur tersebut. Pendetailan tambahan berkaitan dengan persyaratan integritas struktural dicakup dalam 4.10.

25.1.2 Ketentuan 25.9 berlaku pada daerah angkur untuk tendon pascatarik.

25.2 - Spasi minimum penulangan

25.2.1 Untuk tulangan nonprategang yang sejajar pada satu lapisan horizontal, spasi bersih tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm, d_b, dan $(4/3)d_{agg}$.

25.2.2 Untuk tulangan nonprategang yang sejajar yang dipasang pada dua atau lebih lapisan horizontal, ulangan pada lapisan atas harus diletakkan tepat di atas tulangan lapisan bawah dengan spasi bersih paling sedikit 25 mm.

25.2 - Spasi minimum penulangan

Batasan minimum ditetapkan adalah untuk memungkinkan beton mengalir dengan mudah ke ruang antar tulangan dan antar tulangan dengan bekisting tanpa terbentuk *honeycomb*, dan untuk memastikan terhadap konsentrasi masing–masing tulangan pada garis yang dapat menyebabkan retak geser atau retak susut. Penggunaan diameter tulangan nominal dalam menentukan spasi minimum memperkenankan penggunaan kriteria yang sama untuk semua ukuran tulangan. Pada tahun 2014, batasan ukuran agregat diterjemahkan dalam persyaratan spasi

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.2.3 Untuk tulangan longitudinal pada kolom, pedestal, *strut* dan elemen batas pada dinding, spasi bersih antar tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 40 mm, 1,5 d_b dan **(4/3)** d_{agg}**.**	minimum, dan diberikan untuk membungkus tulangan yang cukup dan untuk meminimalkan terbentuknya *honeycomb*. Pembatasan terkait ukuran agregat tidak perlu dipenuhi bila dalam penilaian perencana ahli bersertifikat bahwa kelecakan (*workabilitas*) dan metode pemadatan beton sedemikian rupa sehingga beton masih dapat ditempatkan tanpa menimbulkan *honeycomb* dan rongga. Panjang penyaluran yang diberikan dalam 25.4 adalah suatu fungsi dari spasi tulangan dan selimut beton. Sehingga, dimungkinkan untuk menggunakan spasi minimum tulangan atau selimut beton yang lebih besar dalam beberapa kasus.
25.2.4 Untuk *strand* pratarik di ujung komponen struktur, spasi minimum s antar pusat ke pusat *strand* harus lebih besar dari nilai yang ada pada Tabel 25.2.4, dan **[(4/3)** $d_{agg} + d_b$**)].**	**R25.2.4** Pengurangan spasi untuk menyalurkan kekuatan sebesar 28 MPa atau lebih berdasarkan pada Deatherage et. al. (1994) dan Russell *and* Burns (1996).

Tabel 25.2.4 – Spasi minimum antar sumbu ke sumbu *strand* pratarik pada ujung komponen struktur

f_{ci}', MPa	Diameter nominal *strand*, mm	Minimum s
< 28	Semua	$4d_b$
≥ 28	< 12,7 mm	$4d_b$
	12,7 mm	45 mm
	15,2 mm	50 mm

25.2.5 Untuk kawat pratarik di ujung komponen struktur, spasi minimum antar pusat ke pusat kawat s harus lebih besar dari **5**d_b dan **[(4/3)** $d_{agg} + d_b$**)].**

25.2.6 Reduksi spasi vertikal termasuk bundel tulangan prategang diizinkan pada bagian tengah bentang.

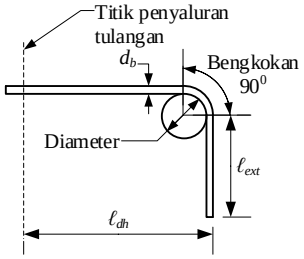
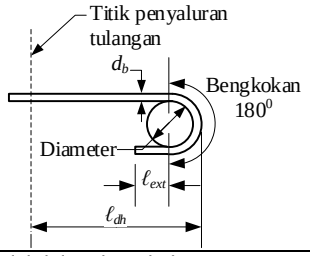
25.3 - Kait standar, kait seismik, ikat silang, dan diameter sisi dalam bengkokan minimum **25.3.1** Kait standar untuk penyaluran tulangan ulir pada kondisi tarik harus memenuhi Tabel 25.3.1.	**25.3 - Kait standar, kait seismik, ikat silang, dan diameter sisi dalam bengkokan minimum** **R25.3.1** Bengkokan standar pada batang tulangan dinyatakan dalam hubungan diameter sisi dalam bengkokan karena lebih

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

mudah mengukurnya daripada radius bengkokan. Faktor utama yang berpengaruh pada diameter bengkokan minimum adalah kelayakan pembengkokan tanpa terputus dan pencegahan kehancuran beton sisi dalam bengkokan.

Tabel 25.3.1 – Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi Tarik

Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus[1] ℓ_{ext}, mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D 25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D 36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

[1] Kait standar untuk batang ulir pada kondisi tarik termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkuran pada kait.

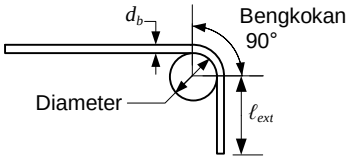
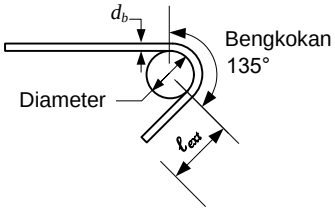
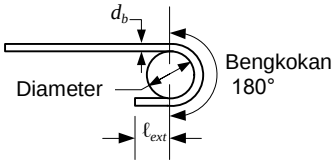
25.3.2 Diameter sisi dalam bengkokan minimum untuk batang yang digunakan sebagai tulangan transversal dan kait standar untuk batang yang digunakan untuk angkur sengkang, ikat silang, sengkang pengekang, dan spiral harus sesuai dengan Tabel 25.3.2. Kait standar harus menutup tulangan longitudinal.

R25.3.2 Standar sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekang dbatasi pada batang D25 dan lebih kecil, dan kait 90 derajat dengan perpanjangan $\mathbf{6}d_b$ lebih terbatas pada batang D16 dan lebih kecil, sebagai hasil penelitian yang menunjukkan bahwa semakin besar ukuran batang dengan kait 90 derajat dan perpanjangan $\mathbf{6}d_b$ cenderung mengelupaskan selimut beton ketika penulangan diberi tegangan dan kait diluruskan. Minimal bengkokan $\mathbf{4}d_b$ untuk ukuran batang yang digunakan utnuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekang berdasarkan praktek yang diterima industri di Amerika Serikat. Penggunaan sengkang D16 atau lebih kecil untuk kait sengkang standar 90, 135, atau 180 derajat akan mengizinkan beberapakali bengkokan pada peralatan standar bengkokan sengkang.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Masalah kemudahan konstruksi harus dipertimbangkan dalam pemilihan detail pengangkuran. Khususnya, penggunaan kait 180 derajat harus dihindari pada sengkang tertutup, ikat silang, dan sengkang pengekang yang dibuat pada penulangan yang menerus.

Tabel 25.3.2 – Diameter sisi dalam bengkokan minimum dan geometri kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekang

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus [1] ℓ_{ext}, mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

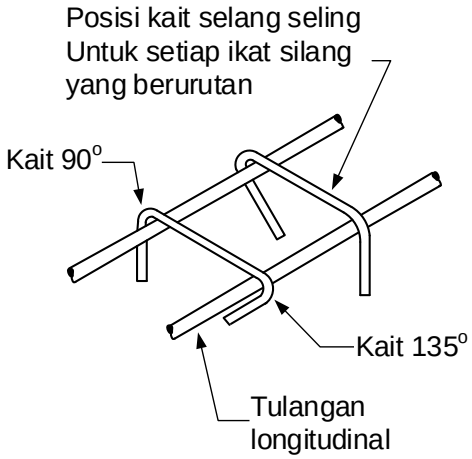
[1] Kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengekang termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkuran pada kait.

25.3.3 Diameter sisi dalam bengkokan minimum untuk penulangan kawat las yang digunakan sebagai sengkang atau ikat silang tidak boleh kurang dari $\mathbf{4}d_b$ untuk kawat ulir yang diamternya lebih besar dari D6 dan $\mathbf{2}d_b$ untuk kawat lainnya. Diameter sisi dalam bengkokan yang kurang dari $\mathbf{8}d_b$ tidak boleh kurang dari $\mathbf{4}d_b$ dari perpotongan las terdekat.

R25.3.3 Tulangan kawat las dapat digunakan untuk sengkang dan ikat silang. Kawat pada perpotongan bagian yang dilas tidak memiliki daktilitas dan kemampuan bengkokan yang sama seperti di daerah yang tidak dipanaskan oleh pengelasan pada pembuatan tulangan kawat las. Efek suhu pengelasan selalu tidak teratur pada jarak sekitar 4 kali diameter kawat tersebut. Diameter bengkokan minimum yang diizinkan dalam kebanyakan kasus sama dengan yang disyaratkan pada pengujian tekuk ASTM untuk kawat (ASTM A1064M dan A1022M).

25.3.4 Kait seismik yang digunakan untuk mengangkur sengkang, sengkang ikat,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sengkang pengekang, dan ikat silang harus mengikuti a) dan b): a) Bengkokan minimum adalah 90 derajat untuk sengkang pengekang lingkaran dan 135 derajat untuk seluruh sengkang pengekang lainnya. b) Kait harus mengikat tulangan longitudinal dan pepanjangan ujungnya harus diarahkan ke bagian dalam sengkang atau sengkang pengekang.	
25.3.5 Ikat silang (*crosstie*) harus memenuhi a) hingga e): a) Ikat silang harus menerus dari ujung ke ujung. b) Harus ada kait sesimik pada salah satu ujung c) Harus ada kait standar pada ujung yang lainnya dengan bengkokan minimum sebesar 90 derajat d) Kait harus mengikat tulangan longitudinal terluar e) Kait 90 derajat pada dua ikat silang berturut-turut yang diikat pada tulangan longitudinal yang sama ujung kait nya harus dipasang selang-seling, kecuali ikat silang memenuhi 18.6.4.3 atau 25.7.1.6.1.	**R25.3.5** Ikat silang diilustrasikan pada Gambar R25.3.5  **Gambar R25.3.5 – Ikat silang**
25.4 - Panjang penyaluran **25.4.1** *Umum* **25.4.1.1** Tarik atau tekan dihitung pada penulangan di setiap penampang komponen struktur harus disalurkan pada setiap sisinya dengan panjang penyaluran; kait, batang ulir berkepala, sambungan mekanik, atau kombinasinya.	**R25.4 - Panjang penyaluran** **R25.4.1** *Umum* **R25.4.1.1** Konsep panjang penyaluran berdasarkan pada tegangan lekatan rata–rata yang bisa dicapai sepanjang penanaman tulangan (ACI Committee 408 1966). Panjang penyaluran dibutuhkan karena adanya kecenderungan batang dengan tegangan yang sangat besar dapat membelah bagian yang tipis beton pembungkus. Sebuah tulangan tunggal yang tertanam pada beton masif seharusnya tidak memerlukan panjang penyaluran yang besar, walaupun demikian sebaris tulangan, bahkan di dalam beton masif, dapat membuat suatu perlemahan bidang dengan pembelahan beton (*splitting*) arah longitudinal di sepanjang bidang tulangan. Dalam aplikasinya, konsep panjang penyaluran membutuhkan panjang penyaluran atau perpanjangan tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	minimum melebihi keseluruhan titik tegangan puncak pada tulangan. Tegangan puncak umumnya terjadi pada titik tegangan maksimum dan titik dimana tulangan mengalami dibengkokkan atau diputus. Dari titik tegangan puncak pada tulangan, sebagian panjang tulangan atau penjangkaran diperlukan untuk mengembangkan tegangannya. Panjang penyaluran atau penjangkaran tersebut dibutuhkan pada kedua sisi dimana titik tegangan puncak terjadi. Seringkali, penulangan masih berlanjut sejarak tertentu di salah satu sisi titik tegangan kritis maka perhitungan hanya diperlukan pada sisi yang lainnya, sebagai contoh, tulangan momen negatif diteruskan melewati tumpuan hingga ke tengah bentang berikutnya.
25.4.1.2 Kait dan kepala tulangan tidak boleh digunakan untuk menyalurkan tulangan tekan	**R25.4.1.2** Kait dan kepala tulangan tidak efektif pada kondisi tekan. Tidak ada data yang tersedia yang menunjukkan bahwa kait dan kepala tulangan dapat mengurangi panjang penyaluran dalam kondisi tekan.
25.4.1.3 Panjang penyaluran tidak memerlukan faktor reduksi ϕ**.**	**R25.4.1.3** Faktor kekuatan reduksi ϕ tidak digunakan pada persamaan panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan. Jaminan terhadap reduksi kekuatan sudah termasuk ke dalam persamaan untuk menentukan panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan.
25.4.1.4 Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan untuk menghitung panjang penyaluran tidak boleh lebih dari 8,3 MPa.	**R25.4.1.4** Darwin et al. (1996) menunjukkan bahwa gaya yang yang dikembangkan pada tulangan dalam pengujian penyaluran dan sambungan lewatan meningkat pada tingkat yang lebih rendah dari $\sqrt{f_c'}$ dengan peningkatan kekuatan tekan. Penggunaan $\sqrt{f_c'}$ cukup akurat untuk nilai $\sqrt{f_c'}$ hingga 8,3 MPa, dan karena penggunaan $\sqrt{f_c'}$ yang sudah lama diterapkan pada desain, Komite ACI 318 telah memilih untuk tidak merubah nilai eksponen yang diterapkan pada kekuatan tekan untuk menghitung panjang penyaluran dan sambungan lewatan, tetapi

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	bukan untuk mengatur batas atas nilai 8,3 MPa pada $\sqrt{f_c'}$.
25.4.2 *Penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik*	**R25.4.2** *Penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik*
25.4.2.1 Panjang penyaluran ℓ_d untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik harus yang terbesar dari a) dan b): a) Panjang yang dihitung sesuai dengan 25.4.2.2 atau 25.4.2.3 dengan menggunakan faktor modifikasi yang berlaku pada 25.4.2.4 b) 300 mm	**R25.4.2.1** ketentuan ini memberikan dua tingkatan pendekatan untuk perhitungan tarik panjang penyaluran. Pengguna dapat menggunakan ketentuan sederhana pada 25.4.2.2 atau persamaan umum panjang penyaluran (Pers. 25.4.2.3a), berdasarkan pernyataan yang telah disahkan sebelumnya oleh ACI 408.IR (Jirsa et al. 1979). Pada tabel 25.4.2.2, ℓ_d berdasarkan dua nilai yang telah dipilih sebelumnya yaitu $(c_b + K_{tr})/d_b$, dimana ℓ_d berasal dari Pers. (25.4.2.3a) sesuai dengan $(c_b + K_{tr})/d_b$. Walaupun tidak ada persyaratan untuk tulangan transversal sepanjang perpanjangan dan panjang sambungan pada tarik, penelitian (Azizinamini et al. 1999 a,b) menunjukkan bahwa pada beton yang memiliki kekuatan tekanan yang tinggi, kegagalan penyaluran yang rapuh dapat menyebabkan tulangan transversal tidak memadai pada batang tulangan tersebut. Pada pengujian sambungan D25 dan D36 tulangan pada beton dengan perkiraan f_c' sebesar 105 MPa, tulangan transversal meningkatkan perilaku daktilitas pada sambungan.
25.4.2.2 Untuk batang ulir atau kawat ulir, ℓ_d harus dihitung berdasarkan Tabel 25.4.2.2.	**R25.4.2.2** Ketentuan ini mengakui bahwa banyak kasus konstruksi praktis saat ini yang menggunakan spasi dan selimut bersamaan dengan tulangan pengaku, seperti sengkang atau ikat silang, yang menghasilkan nilai pada $(c_b + K_{tr})/d_b$ paling kecil sebesar 1,5. Contohnya termasuk selimut bersih minimum adalah d_b bersamaan dengan spasi bersih minimum yaitu $2d_b$, atau kominasi spasi bersih minimum sebesar d_b dan sengkang minimum atau sengkang ikat. Untuk kasus yang yang sering terjadi saat ini, panjang penyaluran untuk tulangan yang besar dapat diambil sebagai $\ell_d = \left[f_y \Psi_t \Psi_e / \left(1{,}7\lambda\sqrt{f'_c} \right) \right] d_b$ Pada ketentuan rumus di ACI 318-95, perbandingan dari ketentuan sebelumnya

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 25.4.2.2 – Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

Spasi dan selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan tidak kurang dari d_b, selimut beton paling sedikit d_b, dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2{,}1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1{,}7\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$
Kasus-kasus lainnya	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1{,}4\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1{,}1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$

25.4.2.3 Untuk batang ulir dan kawat ulir, ℓ_d harus dihitung dengan:

PENJELASAN

dan pengecekan database pada hasil percobaan diatur dalam ACI 408.1R menunjukan bahwa untuk tulangan ulir D19 dan lebih kecil dari itu, begitu juga untuk kawat ulir, panjang penyaluran dapat diturunkan hingga 20 persen dengan menggunakan $\Psi_s = 0{,}8$. Hal ini merupakan dasar untuk tulangan D19, tulangan yang lebih kecil dan kawat ulir yaitu pada kolom tabel 25.4.2.2. Dengan selimut yang lebih sedikit dan ketiadaan sengkang atau sengkang ikat minimum, Batasan jarak bersih minimum terdapat pada 25.2.1 dan kebutuhan selimut beton minimum pada 20.6.1.3 menghasilkan nilai minimum pada c_b sama dengan d_b. Jadi, untuk kasus lain, nilai tersebut berdasarkan penggunaan $\left(C_b + K_{tr}\right)/d_b = 1{,}0$ pada Pers. (25.4.2.3a).

Pengguna dapat membangun dengan mudah, dalam kata lain pernyataan yang berguna. Sebagai contoh, pada seluruh batang dengan beton normal $(\lambda = 1{,}0)$, tulangan yang tidak dilapisi $(\Psi_e = 1{,}0)$, D22 dan lebih besar $(\Psi_t = 1{,}0)$ dengan $f_c' = 28$ **MPa**, dan mutu tulangan 420, persamaan berkurang menjadi

$$\ell_d = \frac{(420)(1{,}0)(1{,}0)}{1{,}7(1{,}0)\sqrt{28}} d_b = 47 d_b$$

atau

$$\ell_d = \frac{(420)(1{,}0)(1{,}0)}{1{,}7(1{,}0)\sqrt{28}} d_b = 72 d_b$$

Jadi, selama selimut minimum d_b tersedia bersamaan dengan spasi bersih minimum sebesar $2d_b$ atau selimut bersih minimum d_b dan spasi bersih minimum d_b disediakan bersamaan dengan sengkang atau sengkang ikat minimum, maka $\ell_d = 47 d_b$. Penalti untuk spasi tulangan yang lebih dekat atau terdapat selimut yang kurang adalah persyaratan bagi $\ell_d = 72 d_b$.

R25.4.2.3 Persamaan (25.4.2.3a) memuat pengaruh pada seluruh variabel yang mengatur panjang penyaluran. Pada pers. (25.4.2.3a), c_b adalah faktor yang menggambarkan paling sedikit selimut

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1{,}1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + \mathrm{K}_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \qquad (25.4.2.3a)$$

Dimana nilai $(c_b + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$\mathrm{K}_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn} \qquad (25.4.2.3b)$$

Dimana n adalah jumlah batang atau kawat yang disalurkan atau disambunglewatkan di sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr} = 0$ sebagai penyederhanaan desain walaupun terdapat tulangan transversal.

PENJELASAN

tepinya, selimut beton ke tulangan atau kawat (pada kedua hal tersebut diukur dari titik tengah tulangan atau kawat, K_{tr} adalah faktor yang menggambarkan kontribusi tulangan pengaku yang berpotensi terjadinya pemisahan bidang. Ψ_t adalah faktor lokasi tulangan yang menunjukkan pengaruh posisi pengecoran (sebelumnya disebutkan sebagai “efek tulangan atas”). Ψ_e adalah faktor lapisan yang menggambarkan pengaruh lapisan epoksi. Terdapat batasan pada perkalian $\Psi_t\Psi_e$. Faktor ukuran tulangan Ψ_s menggambarkan kinerja yag lebih baik pada diameter tulangan yang relatif kecil. Batasan sebesar 2,5 terdapat pada $(c_b+K_{tr})/d_b$. pada saat $(c_b+K_{tr})/d_b$ kurang dari 2,5 kemungkinan kegagalan belah (*splitting*) beton akan terjadi. Untuk nilai di atas 2,5 kegagalan cabut dapat terjadi, dan peningkatan pada selimut atau tulangan transversal tidak seperti peningkatan kapasitas pengangkuran.

Banyak kombinasi praktis pada selimut tepi, selimut bersih, dan tulangan pengaku yang dapat digunakan dengan 25.4.2.3 untuk menghasilkan panjang penyaluran yang sangat kecil dari yang diizinkan oleh 25.4.2.2. Sebagai contoh tulangan atau kawat dengan selimut bersih minimum tidak kurang dari $2d_b$ dan jarak bersih minimum tidak kurang dari $4d_b$ dan tanpa adanya pengaku tulangan dapat memiliki nilai $(c_b + K_{tr})/d_b$ sebesar 2,5 dan dapat membutuhkan panjang penyaluran hanya sebesar $28d_b$ berdasarkan contoh pada R25.4.2.2.

Sebelum ACI 318-08, Pers. (25.4.2.3b) untuk K_{tr} termasuk kekuatan leleh pada tulangan transversal. Persamaan yang ada saat ini hanya memuat luasan dan spasi tulangan transversal dan jumlah tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung-lewatkan karena sesuai dengan hasil uji menunjukkan bahwa tulangan transversal jarang mengalami leleh pada saat kegagalan lekatan (Azizinamini et al. 1995).

Ekspresi pada Pers. (25.4.2.3a) dapat dikesampingkan jika terdapat pengabaian menghasilkan nilai lebih panjang dan lebih konservatif pada panjang penyaluran.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

25.4.2.4 Untuk perhitungan ℓ_d, faktor modifikasi harus sesuai Tabel 25.4.2.4.

Tabel 25.4.2.4 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi Ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Ukuran Ψ_s	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi pengecoran [1] Ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	lainnya	1,0

[1] Hasil dari $\Psi_t \Psi_e$ tidak boleh melebihi 1,7

PENJELASAN

R25.4.2.4 Faktor beton ringan λ untuk perhitungan panjang penyaluran tulangan ulir dan kawat ulir pada tarikan adalah sama dengan seluruh jenis agregat beton ringan, penelitian tidak mendukung adanya perbedaan pada faktor tersebut di dalam standar sebelumnya pada tahun 1989 untuk seluruh beton ringan dengan semua agregat ringan dan beton ringan dengan pasir ringan. Pada bagian 25.4.2.4 mengizinkan faktor yang lebih tinggi untuk digunakan pada saat pembagian kekuatan tarik. Berdasarkan pada 19.2.4.

Faktor epoksi Ψ_e berdasarkan studi (Treece *and* Jirsa 1989; Johnston *and* Zia 1982; Mathey *and* Clifton 1976) terhadap penyaluran tulangan yang dilapisi epoksi menunjukkan bahwa kekuatan ikatan menurun akibat lapisan menghalangi terjadinya adhesi dan menurunkan koefisien friksi antara tulangan dan beton. Faktor tersebut menggambarkan jenis kegagalan penyaluran yang mungkin terjadi. Jika selimut atau jaraknya kecil, kegagalan pecah dapat terjadi dan penyaluran atau kekuatan ikatan dapat menurun drastis. Jika selimut dan spasi antar tulanganya besar, dapat terhindar dari kegagalan pecah dan pengaruh lapisan epoksi terhadap kekuatan penyaluran tidak terlalu besar. Studi (Orangun et al.1977) menunjukkan bahwa walaupun selimut atau spasinya kecil, kekuatan penyaluran dapat meningkat dengan menambahkan tulangan transversal yang memotong bidang belahnya, dan menahan retak belah (*splitting crack*).

Karena ikatan lapisan tulangan epoksi atau seng dan lapisan ganda tulangan epoksi telah menurun akibat kehilangan adhesi dan menurunya koefisien friksi antara tulangan dan beton, batas atas sebesar 1,7 sangat cocok sebagai faktor hasil untuk posisi pengecoran tulangan atas dan lapisan tulangan epoksi atau seng dan lapisan ganda tulangan epoksi.

Faktor ukuran tulangan Ψ_s, menggambarkan kinerja yang lebih baik pada tulangan berdiameter relatif kecil.

Faktor lokasi penulangan atau posisi pengecoran Ψ_t mencatatkan posisi tulangan pada beton yang baru saja ditempatkan. Faktor sebesar 1,3 berdasarkan penelitian (Jirsa *and* Breen 1981; Jeanty et al. 1988).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Pemakaian faktor posisi pengecoran harus dipertimbangkan dalam penentuan panjang penyaluran pada tulangan miring.
25.4.3 *Penyaluran kait standar dalam kondisi tarik*	**R25.4.3** *Penyaluran kait standar dalam kondisi Tarik*
25.4.3.1 Panjang penyaluran tarik ℓ_{dh} batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar harus diambil terbesar dari a) hingga c): a) $\left(\frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$ dengan $\Psi_e \Psi_c \Psi_r$ dan λ diberikan pada 25.4.3.2 b) $8d_b$ c) 150 mm	**R25.4.3.1** Studi kegagalan tulangan kait menunjukkan bahwa pecahnya selimut beton pada bidang kaitnya merupakan penyebab utama kegagalan dan pecah tersebut berasal dari dalam kaitnya dimana konsentrasi serat tekan sangat tinggi. Maka, penambahan kait merupakan fungsi langsung dari diameter tulangan d_b, yang mempengaruhi besarnya tegangan tekan di dalam kait tersebut. Hanya kait standar (mengacu pada 25.3.1) yang dapat ditentukan, dan pengaruh dari jari – jari yang lebih besar tidak dapat dinilai oleh 25.4.3. Ketentuan penyaluran tulangan kait memberikan jumlah panjang penanaman tulangan kait seperti yang tertera pada Tabel 25.3.1. Panjang penyaluran ℓ_{dh} diukur dari penampang kritis sampai ujung luar kait. Pengaruh kekuatan leleh tulangan, kelebihan tulangan, beton ringan, dan faktor yang menggambarkan tahanan belah beton yang diberikan oleh kekangan beton dan tulangan transversal pengikat atau sengkang berdasarkan rekomendasi dari ACI 408.1R and Jirsa et al. (1979) Nilai minimum ℓ_{dh} ditentukan untuk mencegah kegagalan oleh penarikan atau cabut secara langsung dalam kasus kait yang diletakkan sangat dekat dengan penampang kritis.
25.4.3.2 Untuk perhitungan ℓ_{dh}, faktor modifikasi harus sesuai dengan tabel 25.4.3.2. Faktor Ψ_c dan Ψ_r diizinkan untuk diambil sebagai 1,0. Pada ujung komponen struktur yang tidak menerus, 25.4.3.3 berlaku.	**R25.4.3.2** Tidak seperti panjang penyaluran normal, tidak ada perbedaan yang timbul dari posisi pengecoran. Faktor epoksi Ψ_e berdasarkan pada pengujian (Hamad et al. 1993) yang menunjukkan panjang penyaluran untuk tulangan kait harus meningkat 20 persen untuk mengurangi lekatan pada saat tulangan dilapisi epoksi. Faktor tulangan pengekang Ψ_r berdasarkan pada pengujian (Jirsa and Marques 1975) menunjukkan bahwa spasi ikat silang yang rapat atau dekat bagian lengkung tulangan kait merupakan yang paling efektif pada pengekangan tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

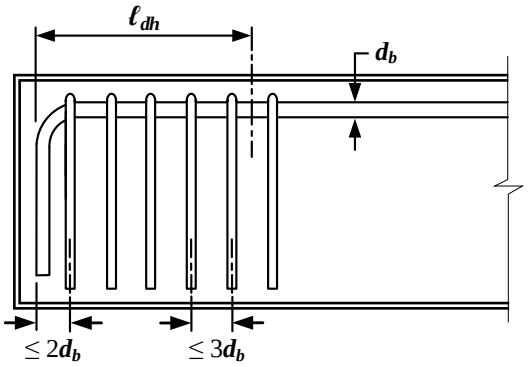
STANDAR

Tabel 25.4.3.2 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang dengan kait dalam kondisi Tarik

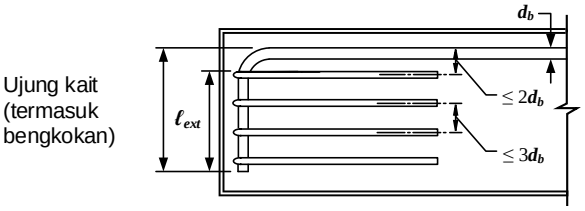
Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai faktor
Bobot beton λ	Beton ringan	0,75
	Beton normal	1,0
Epoksi ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis g*and*a epoksi	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Selimut ψ_c	Untuk batang D36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) ≥ 65 mm dan untuk kait 90 derajat dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait ≥ 50 mm	0,7
	Lainnya	1,0
Tulangan pengekang [2] ψ_r	Untuk kait 90 derajat batang D36 dan yang lebih kecil 1. dilingkupi sepanjang ℓ_{dh} sengkang ikat atau sengkang [1] yang tegak lurus terhadap ℓ_{dh} pada $s \le 3d_b$, atau 2. dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan sengkang ikat atau sengkang [1] yang tegak lurus terhadap ℓ_{ext} pada $s \le 3d_b$	0,8
	Untuk kait 180 derajat D36 dan yang lebih kecil dilingkupi sepanjang ℓ_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang [1] yang tegak lurus terhadap ldh pada $s \le 3d_b$	
	Lainnya	1,0

PENJELASAN

kait. Untuk tujuan konstruksi, ini bukan merupakan cara yang sering dilakukan. Pada kasus dimana faktor pengubah Ψ_r digunakan yang digambarkan dalam pers. R25.4.3.2a dan R25.4.3.2b. Persamaan R25.4.3.2a menunjukkan penempatan ikat silang atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan, memberi jarak sepanjang penyaluran kait ℓ_{dh}. Gambar R25.4.3.2b menunjukkan penempatan ikat silang atau sengkang sejajar terhadap tulangan yang disalurkan sepanjang ujung kait yang mengalami panjang penyaluran ditambah dengan lengkungnya. Konfigurasi terakhir harus sama dengan tumpuan antara kolom– balok.



Gambar R25.4.3.2a – Sengkang ikat atau sengkang dipasang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan, sepanjang panjang penyaluran ℓ_{dh}.



Gambar R25.4.3.2b – Sengkang ikat atau sengkang dipasang sejajar terhadap tulangan yang disalurkan, sepanjang ekor perpanjangan kait ditambah bengkokan.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

[1] Sengakng ikat dan sengkang pertama harus melingkupi bagian bengkokan kait sejarak $2d_b$ dari luar bengkokan
[2] d_b adalah diameter nominal batang kait

25.4.3.3 Untuk batang-batang yang disalurkan dengan kait standar pada ujung yang tidak menerus dari komponen struktur dengan kedua selimut samping dan selimut atas (atau bawah), jaraknya terhadap kait kurang dari 65 mm, a) hingga c) harus terpenuhi:

a) Kait harus dilingkupi sepanjang ℓ_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang dengan spasi $s \leq 3d_b$
b) Sengkang ikat atau sengkang pertama harus dipasang sejarak $2d_b$ disisi terluar bengkokan.
c) Ψ_r harus diambil sebesar 1,0 dalam perhitungan ℓ_{dh} sesuai 25.4.3.1(a)

Dimana d_b adalah diameter nominal batang kait.

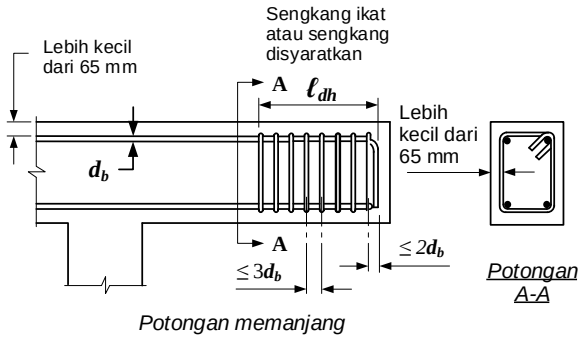
25.4.4 *Penyaluran batang ulir berkepala dalam kondisi tarik*

25.4.4.1 Penggunaan kepala tulangan untuk penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik diizinkan jika kondisi a) hingga g) terpenuhi:

a) Batang harus sesuai 20.2.1.3

PENJELASAN

R25.4.3.3 Tulangan kait sangat rentan terhadap kegagalan belah beton jika selimut di kedua sisinya (tegak lurus bidang kait) dan selimut atas atau bawah (sebidang pada bidang kait) sangat kecil (mengacu pada Gambar R25.4.3.3.). Dengan kekangan minimum yang disediakan oleh beton, penambahan kekangan yang disediakan oleh ikat silang atau sengkang adalah sangat penting, khususnya jika kekuatan tulangan penuh ditambahkan oleh tulangan kait dengan selimut yang kecil. Kasus dimana kait membutuhkan ikat silang atau sengkang untuk kekangan adalah pada ujung balok tumpuan sederhana, pada ujung bebas kantilever, dan pada ujung komopnen struktur yang merangka pada *joint* dimana komponen tidak diteruskan melebihi joint. Sebaliknya, jika perhitungan tulangan tekan sangat rendah dimana kait tidak dibutuhkan untuk penyaluran tulangan, ikat silang atau sengkang tidak diperlukan. Ketentuan tersebut tidak berlaku untuk tulangan kait pada ujung pelat yang tidak menerus dimana kekangan telah disediakan oleh pelat di kedua sisinya dan tegak lurus bidang kait.



Gambar R25.4.3.3 – Selimut beton sesuai 25.4.3.3

25.4.4 *Penyaluran batang ulir berkepala dalam kondisi tarik*

R25.4.4.1 Seperti yang telah digunakan dalam pasal ini, penyaluran menjelaskan kasus dimana gaya pada tulangan yang disalurkan ke beton melalui kombinasi gaya tumpu pada kepala dan gaya lekatan sepanjang tulangan. Sebaliknya, Pasal 17 ketentuan pengangkuran menjelaskan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

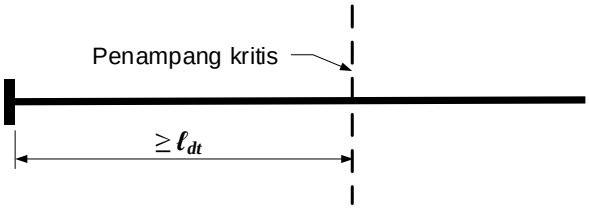
STANDAR	PENJELASAN
b) f_y batang tidak melebihi 420 MPa c) Ukuran batang tidak melebihi D36 d) Luas tumpu netto kepala tulangan A_{brg} paling sedikit $4A_b$ e) Beton harus beton normal f) Selimut bersih tulangan paling sedikit $2d_b$ g) Spasi bersih antar tulangan paling sedikit $4d_b$	kasus dimana gaya pada tulangan disalurkan melalui tumpuan ke beton pada kepala saja. Tulangan berkepala terbatas pada jenis yang memenuhi syarat kepala kelas HA pada ASTM A970M karena berbagai metode digunakan untuk mengikat kepala ke tulangan, beberapa diantaranya melibatkan halangan atau gangguan deformasi tulangan yang berarti. Tulangan berkepala dengan halangan dan gangguan deformasi tulangan tidak dievaluasi pada pengujian untuk merumuskan ketentuan pada 25.4.4.2. tulangan berkepala yang dievaluasi pada pengujian hanya terbatas pada beberapa jenis yang memenuhi kriteria di 20.2.1.6 untuk kepala kelas HA. Ketentuan untuk tulangan ulir berkepala dirumuskan dengan pertimbangan ketentuan pengangkuran pada Pasal 17 dan ketentuan kekuatan tumpu pada 22.8 (Thompson et al. 2005, 2006a). Pasal 17 berisi ketentuan untuk angkur berkepala terkait mode kegagalan individu jebol beton (*concrete breakout*), ambrol ke samping (*side-face blowout*) dan cabut (*pullout*). Kegagalan tersebut dipertimbangkan pada rumus 25.4.4.2. Larangan pada batas atas 420 MPa untuk f_y, ukuran tulangan maksimum D36, dan beton normal berdasarkan data yang ada pada pengujian (Thompson et al. 2005, 2006a,b). Untuk tulangan pada kondisi tarik, pelebaran kepala memungkinkan tulangan untuk memiliki panjang penyaluran yang lebih pendek dari yang dibutuhkan untuk kait standar (Thompson et al. 2005, 2006 a,b). Batasan minimum pada ukuran kepala, selimut bersih, dan spasi bersih berdasarkan batas bawah pada parameter tersebut yang digunakan pada pengujian bertujuan untuk menetapkan persamaan ℓ_{dt} pada 25.4.4.2. Syarat selimut bersih dan spasi bersih pada 25.4.4.1 berdasarkan dimensi yang diukur ke tulangan, bukan ke kepala. Kepala dianggap menjadi bagian tulangan dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan selimut yang dibutuhkan pada 20.6.1.3, dan persyaratan ukuran agregat pada 26.4.2.1(a)(4). Untuk menghindari kerapatan tulangan, dapat dimungkinkan pemasangan berseling pada kepala. Tulangan berkepala dengan $A_{brg} < 4A_b$ telah digunakan dalam praktek konstruksi,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	tetapi kinerjanya tidak secara akurat menunjukkan dengan ketentuan di 25.4.4.2, dan seharusnya hanya digunakan dalam desain yang ditunjang dengan hasil pengujian sesuai 25.4.5. Ketentuan ini tidak ditujukan untuk desain stud atau stud berkepala yang digunakan untuk tulangan geser.
25.4.4.2 Panjang penyaluran tarik ℓ_{dt} untuk batang ulir berkepala dalam kondisi tarik harus yang terbesar dari a) hingga c): a) $\left(\frac{0{,}19 f_y \Psi_e}{\sqrt{f'_c}}\right) d_b$, dengan Ψ_e diberikan pada 25.4.4.3 dan nilai f_c' tidak melebihi 40 MPa b) $8d_b$ c) 150 mm	**R25.4.4.2** Ketentuan untuk penyaluran tulangan ulir berkepala memberikan panjang tulangan, ℓ_{dt}, diukur dari penampang kritis menuju muka tumpuan dari kepala, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar R25.4.4.2a. Batas atas pada nilai f_c' pada 25.4.4.2 untuk digunakan pada perhitungan ℓ_{dt} berdasarkan pada kekuatan beton yang digunakan dalam pengujian (Thompson et al. 2005, 2006a,b). Karena tulangan transversal menunjukkan ketidak-efektifan dalam meningkatkan pengankuran batang ulir berkepala (Thompson et al. 2005, 2006a,b), tambahan pengurangan pada panjang penyaluran, seperti yang diizinkan untuk kait standar dengan penambahan kekangan yang disediakan tulangan transversal pada 25.4.3.2, tidak dapat digunakan untuk tulangan ulir berkepala. Tulangan transversal, walaupun membantu batas retak belah pada daerah sekitar kepala dan untuk alasan itu sangat disarankan. Bila tulangan ulir longitudinal berkepala dari balok atau pelat yang berakhir pada komponen struktur pendukung, seperti pada kolom yang tertera pada Gambar R25.4.4.2b, tulangan harus dietruskan melalui *joint* ke sisi muka terjauh inti terkekang pada komponen struktur pendukung, menyediakan selimut beton dan menghindari gangguan tulangan kolom, walaupun hasil dari panjang penyaluran melebihi ℓ_{dt}. Memperpanjang tulangan ke sisi terjauh kolom inti dapat membantu menyalurkan gaya tekan (seperti diidentifikasi pada model *strut-and-tie*) yang cenderung membentuk keterkaitan dan meningkatkan kinerja *joint*. Bila tulangan berkepala dengan spasi yang dekat digunakan, potensi kegagalan jebol (*breakout*) pada beton kemungkinan terjadi. Untuk joint-joint sebagaimana ditunjukkan pada Gambar R25.4.42c dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

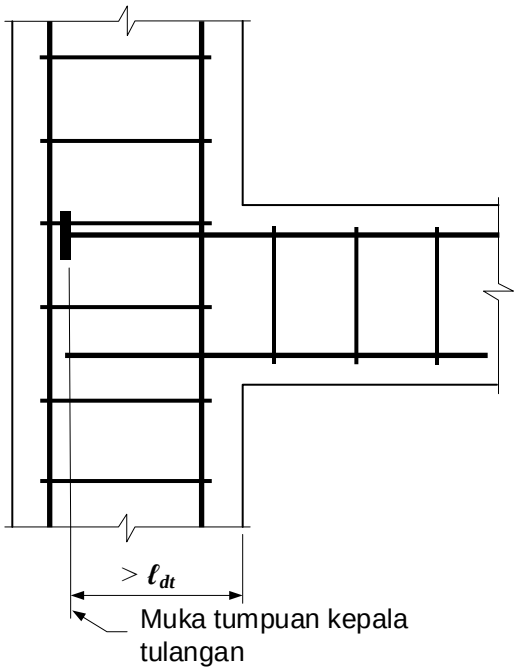
STANDAR	PENJELASAN
	R25.4.4.2d, kegagalan jebol pada beton dapat terhindarkan dengan memberikan panjang penyaluran yang sama atau lebih besar dari ***d/1,5*** (Eligehausen 2006b), seperti pada Gambar R25.4.4.2c atau dengan memberikan tulangan dalam bentuk sengkang ikat dan sengkang pengekang untuk membuat lintasan beban sesuai dengan prinsip model *strut-and-tie*, sebagaimana dijelaskan pada Gambar R25.4.4.2d. Model *strut-and-tie* harus dibuktikan sesuai dengan Pasal 23. Perhatikan bahwa model *strut-and-tie* diilustrasikan pada Gambar R25.4.4.2c dan R25.4.4.2d mengandalkan *strut* vertikal dari perpanjangan kolom di atas joint. Joint balok – kolom pada elevasi atap dan portal kolom balok sangat rentan pada kegagalan joint dan harus benar–benar didetailkan untuk menahan retak diagonal melalui joint dan putus pada tulangan melalui permukaan atas. Untuk kasus di mana jebol beton pada beton tidak dicegah, seperti yang ditampilkan pada Gambar R25.4.4.2e, kegagalan tersebut harus dipertimbangkan sesuai dengan ketentuan Pasal 17.



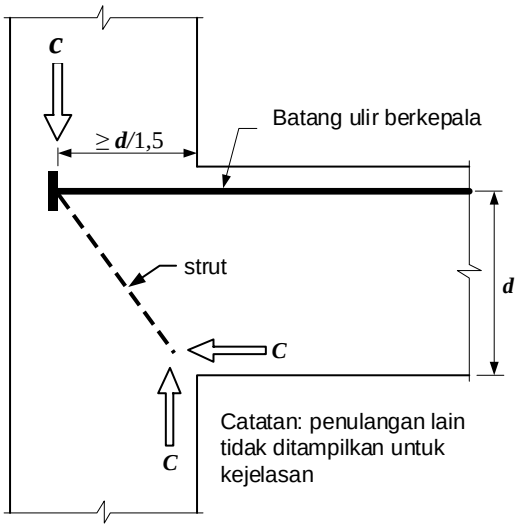
Gambar R25.4.4.2a – Penyaluran batang ulir berkepala

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**



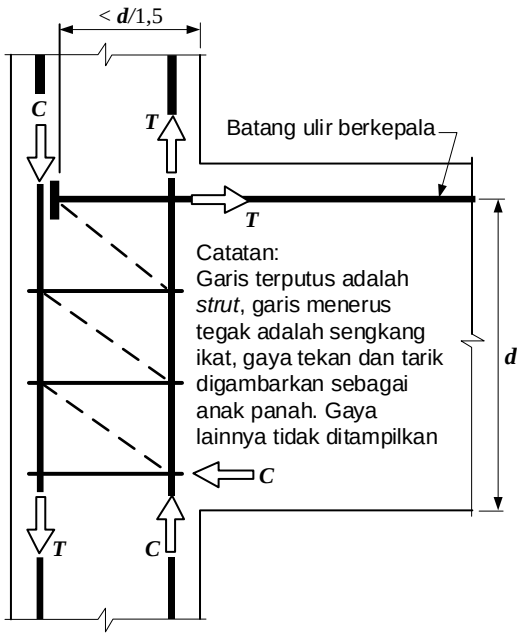
Gambar R25.4.4.2b – Batang ulir berkepala yang diteruskan ke sisi terjauh kolom inti dengan panjang pengangkuran melebihi ℓ_{dt}



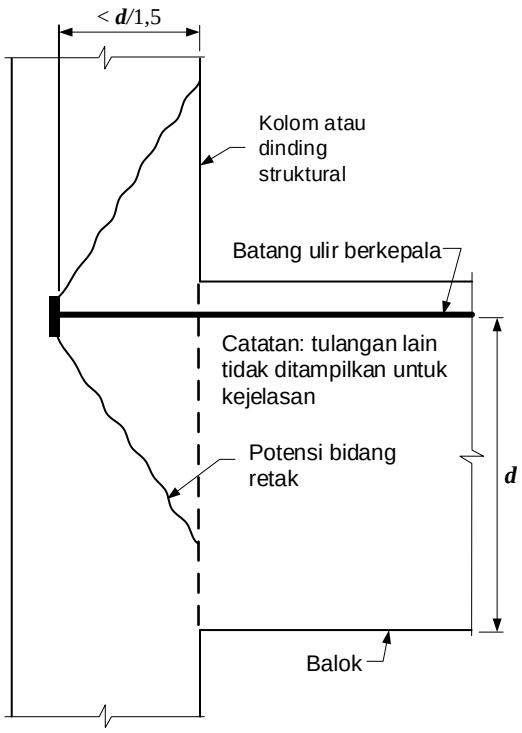
Gambar R25.4.4.2c – Kegagalan jebol yang dicegah pada *joint* dengan menjaga panjang penyaluran lebih besar atau sama dengan d/1,5

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR | **PENJELASAN**



Gambar R25.4.4.2d – Kegagalan jebol yang dicegah pada *joint* dengan memberikan tulangan transversal untuk mengaktifkan mekanisme *strut-and-tie*

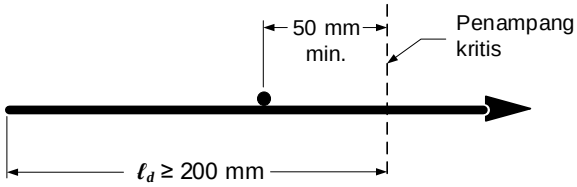


Gambar R25.4.4.2e – Kegagalan jebol tidak terhalang. Ketentuan Pasal 17 berlaku

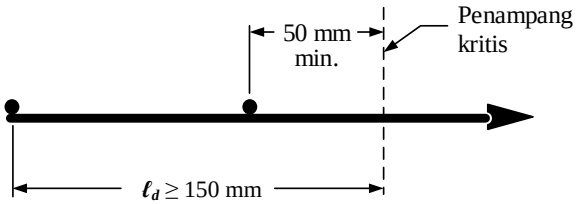
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.4.4.3 Faktor modifikasi, Ψ_e, pada 25.4.4.2(a) harus diambil nilai 1,2 bila dilapisi dengan epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi, dan harus diambil nilai 1,0 untuk tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (digalvanis).	**R25.4.4.3** Faktor 1,2 adalah nilai yang konservatif yang digunakan untuk tulangan ulir berkepala yang dilapisi dengan epoksi, nilai yang sama juga digunakan pada kait standar yang dilapisi dengan epoksi.
25.4.5 *Penyaluran angkur mekanis batang ulir dalam kondisi tarik*	**25.4.5** *Penyaluran angkur mekanis batang ulir dalam kondisi tarik*
25.4.5.1 Semua perangkat mekanis atau alat yang mampu mengembangkan batang ulir mencapai f_y diizinkan digunakan, asalkan hal tersebut disetujui oleh pihak yang berwenang seperti 1.10. Penyaluran batang ulir boleh berupa kombinasi dari angkur mekanis ditambah panjang penyaluran tambahan batang ulir antara penampang kritis dan perangkat mekanis atau alat tersebut.	**R25.4.5.1** Pengangkuran batang ulir dengan metode penggunaan perangkat mekanis di dalam beton yang tidak memenuhi persyaratan pada 20.2.1.6, atau yang tidak disalurkan sesuai 25.4.4, dapat digunakan apabila hasil tes menunjukkan bahwa kemampuan kepala dan sistem tulangan mampu mengembangkan atau mengangkur agar mencapai kekuatan yang diinginkan, sesuai dijelaskan pada ketentuan ini.
25.4.6 *Penyaluran jarring kawat ulir las dalam kondisi tarik.*	**25.4.6** *Penyaluran jarring kawat ulir las dalam kondisi tarik.*
25.4.6.1 Panjang penyaluran ℓ_d untuk jaring kawat ulir las diukur dari penampang kritis hingga ujung kawat harus diambil yang terbesar dari a) dan b), dimana kawat pada arah panjang penyaluran harus berupa kawat ulir D13 atau yang lebih kecil. a) Panjang yang dihitung sesuai 25.4.6.2. b) 200 mm	**R25.4.6.1** ASTM A1064M menyebutkan bahwa penulangan dengan kawat ulir yang dilas memerlukan kekuatan las yang sama yang diperlukan untuk penulangan kawat polos yang dilas. Beberapa jenis pengembangan diaplikasikan pada las, dan beberapa jenis lainnya pada panjang kawat ulir.
25.4.6.2 Untuk jaring kawat ulir las, ℓ_d harus dihitung sesuai 25.4.2.2 atau 25.4.2.3, dikalikan faktor jaring kawat ulir las Ψ_w dari 25.4.6.3 atau 25.4.6.4. Sedangkan jaring kawat ulir las yang dilapisi epoksi yang memenuhi 25.4.6.3, diizinkan untuk menggunakan Ψ_e **= 1,0** sesuai 25.4.2.2 atau 25.4.2.3.	**R25.4.6.2** Faktor penulangan kawat ulir yang dilas, Ψ_w, digunakan pada panjang penyaluran kawat ulir yang dilas yang dihitung sesuai 25.4.2.2 atau 25.4.2.3. Hasil pengujian (Bartoletti and Jirsa 1995) menunjukkan bahwa tulangan kawat ulir yang dilas yang dilapisi epoksi mempunyai panjang penyaluran yang sama dan kekuatan sambungan seperti pada tulangan ulir yang dilas yang tidak dilapisi karena penampang melintang kawat mampu memberikan sifat pengangkuran utama dari kawat tersebut. Oleh karena itu, nilai Ψ_e sebesar 1,0 digunakan untuk panjang penyaluran dan panjang sambungan lewatan dari tulangan kawat ulir yang dilas yang dilapisi epoksi dengan penampang melintang tulangan yang berada dalam

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	panjang penyaluran atau panjang penyambungan.
25.4.6.3 Untuk jaring kawat ulir dengan paling sedikit satu tulangan kawat dalam rentang ℓ_d yang setidaknya sejarak 50 mm dari penampang kritis, Ψ_w harus yang terbesar dari a) dan b), dan tidak perlu melebihi 1,0: a) $\left(\frac{f_y - 240}{f_y}\right)$ b) $\left(\frac{5d_b}{s}\right)$ dimana *s* adalah spasi antar kawat yang disalurkan.	**R25.4.6.3** Gambar R25.4.6.3 menunjukkan persyaratan penyaluran pada tulangan ulir yang dilas dengan satu potongan melintang kawat yang berada di dalam panjang penyaluran.  **Gambar R25.4.6.3 – Penyaluran jaring kawat ulir las**
25.4.6.4 Untuk jaring kawat ulir las dengan tidak ada tulangan kawat dalam rentang ℓ_d yang setidaknya sejarak 50 mm dari penampang kritis, Ψ_w harus diambil 1,0.	
25.4.6.5 Bila sebarang kawat polos atau kawat ulir lebih dari D31, yang digunakan dengan kawat ulir yang dilas ke arah panjang penyaluran, tulangannya harus disalurkan sesuai pada 25.4.7.	**R25.4.6.5** Kawat ulir yang lebih besar dari D13 dianggap sebagai kawat polos karena hasil pengujian menunjukkan bahwa kawat D16 hanya menerima sekitar 60 persen dari nilai kekuatan lekatan dalam tarik yang diberikan sesuai persamaan (25.5.2.3a) (Rutledge dan DeVries 2002).
25.4.6.6 Jaring kawat ulir las yang dilapisi *seng* (digalvanis) harus disalurkan sesuai dengan 25.4.7.	
25.4.7 *Penyaluran jaring kawat polos dalam kondisi tarik*	**25.4.7** *Penyaluran jaring kawat polos dalam kondisi Tarik*
25.4.7.1 Panjang penyaluran ℓ_d untuk jaring kawat polos las dalam kondisi tarik diukur dari penampang kritis ke arah paling jauh kawat melintang harus dipilih terbesar dari a) dan b), serta harus tersedia minimum dua kawat melintang sepanjang ℓ_d. a) Panjang dihitung berdasarkan 25.4.7.2. b) 150 mm	**R25.4.7.1** ASTM A1064M menyebutkan bahwa penulangan dengan kawat polos yang dilas memerlukan kekuatan yang sama dengan kawat yang diperlukan untuk kawat ulir yang dilas. Semua bentuk penyaluran digunakan pada penampang melintang kawat, yang mengakibatkan kawat polos yang dilas membutuhkan paling tidak dua buah kawat yang terpotong.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.4.7.2 ℓ_d harus yang terbesar dari a) dan b): a) Spasi dari kawat melintang + 50 mm b) $3{,}3\left(\frac{f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}}\right)\left(\frac{A_b}{s}\right)$, dimana *s* adalah spasi antar kawat yang disalurkan, dan λ diberikan dalam Tabel 25.4.2.4.	**R25.4.7.2** Gambar R25.4.7.2 menunjukkan bahwa persyaratan penyaluran pada tulangan kawat polos yang dilas dengan penyaluran yang sangat tergantung pada letak penampang melintang kawat. Pada tulangan kawat polos yang dilas dengan ukuran kawat yang kecil, berupa penanaman paling sedikit dua potongan melintang kawat yang berukuran 50 mm atau lebih melewati titik penampang kritis, sudah cukup untuk mengembangkan hingga mencapai kekuatan leleh penuh dari kawat yang diangkur. Namun, pada tulangan kawat polos yang dilas dengan lokasi spasi antar kawat yang lebih dekat, penanaman yang lebih panjang dibutuhkan dengan mengontrol panjang penyaluran yang dikontrol oleh 25.4.7.2(b).  **Gambar R25.4.7.2 – Penyaluran jaring kawat polos las**
25.4.8 *Penyaluran tujuh-kawat strand prategang dalam kondisi tarik.*	**R25.4.8** *Penyaluran tujuh-kawat strand prategang dalam kondisi tarik* – Persyaratan penyaluran untuk *strand* pratarik dimaksudkan untuk menyediakan integritas lekatan untuk kekuatan komponen struktur. Ketentuan-ketentuan ini didasarkan pada hasil pengujian pada beton dengan berat normal dengan tebal selimut minimum 50 mm. Namun pengujian ini tidak dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku dari *strand* pada beton tanpa nilai *slump*. Pengerjaan penempatan beton tersebut harus dapat memastikan terjadinya konsolidasi pada beton di sekitar *strand* dimana kontak penuh antara beton dan baja terjadi. Lekatan *strand* merupakan fungsi dari beberapa faktor, yang di dalamnya termasuk konfigurasi dan kondisi permukaan baja, tegangan pada baja, kedalaman beton di bawah *strand*, dan metode yang digunakan untuk menyalurkan gaya dari *strand* ke beton. Untuk aplikasi *strand* dengan lekatan, kualitas dari

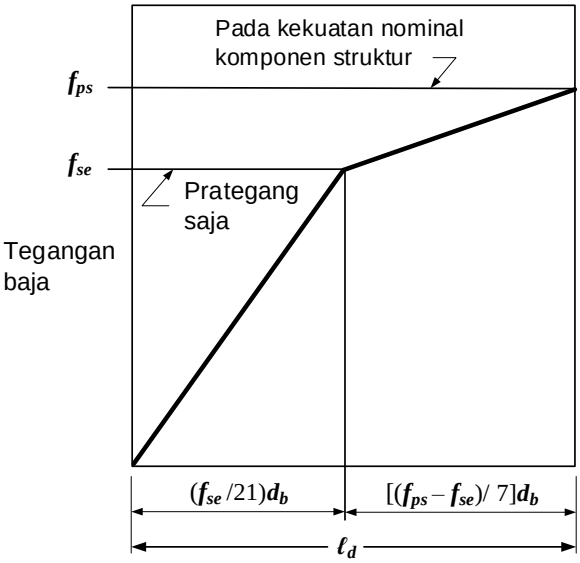
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	prosedur pengerjaan sangat diperlukan untuk menentukan apakah *strand* mampu menahan lekatan dengan cukup (Rose and Russell 1997; Logan 1997). Pabrikan beton pracetak bergantung pada sertifikat yang berasal dari pabrikan *strand* yang menunjukkan bahwa *strand* mempunyai sifat lekatan yang memenuhi dengan persyaratan pada pasal ini. Pasal ini tidak mengacu pada kawat polos, tendon pada ujung angkur, atau *strand* yang tidak diberikan tegangan. Panjang penyaluran kawat polos seharusnya menjadi lebih besar karena tidak adanya kuncian mekanik. Kegagalan lekatan lentur dapat terjadi pada kawat polos ketika pertama kali slip terjadi. Baja prategang yang tidak diberi tegangan kadang-kadang dapat digunakan sebagai tulangan pelengkap pada struktur beton pracetak. Meskipun demikian, hanya ada sedikit data yang tersedia terkait dengan kebutuhan panjang lekatan yang dapat memastikan kekuatan leleh pada tulangan (Salmons and McCrate 1977).
25.4.8.1 Panjang penyaluran tarik ℓ_d untuk tujuh-kawat *strand* prategang harus sesuai dengan a) dan b): a) $\ell_d = \left(\frac{f_{se}}{21}\right) d_b + \left(\frac{f_{ps} - f_{se}}{7}\right) d_b$ (25.4.8.1) b) Apabila lekatan dari *strand* tidak sampai ke ujung dari komponen, dan desain termasuk gaya tarik saat beban layan pada daerah tarik yang sebelumnya tertekan (*precompressed tension zone*) ℓ_d yang dihitung dengan Pers. (25.4.8.1) harus dikali dua.	**R25.4.8.1** Komponen pertama dari persamaan (25.4.8.1) menjelaskan tentang panjang penyaluran dari *strand*, yaitu jarak dimana *strand* terikat pada beton untuk mengembangkan tegangan prategang efektif pada baja prategang, f_{se}. Sedangkan komponen kedua menjelaskan tentang penambahan panjang dimana *strand* terikat pada beton sehingga tegangan yang terjadi pada baja prategang pada kekuatan nominal, f_{ps}, mampu berkembang. Penelitian (Kaar and Magura 1965) yang mempelajari efek dari *strand* yang mengalami kehilangan lekatan atau *strand* mengalami *debonding* (lekatan tidak diizinkan untuk bertambah hingga ujung batang) yang terjadi pada balok gelagar pratarik mengindikasikan kinerja balok gelagar dengan dua kali panjang penyaluran sesuai yang diisyaratkan oleh persamaan (25.4.8.1) memiliki hasil lentur yang hampir mendekati dengan balok gelagar pratarik sama yang memiliki *strand* terikat penuh pada ujung gelagar. Oleh karena itu, nilai dua kali lipat dari panjang penyaluran dibutuhkan *strand* agar tidak terikat hingga ujung batang. Pengujian yang

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dilakukan setelahnya (Rabbat et al. 1979) menunjukkan bahwa pada batang pratarik yang didesain dengan nilai gaya tarik 0 (nol) pada beton dengan kondisi beban layan (mengacu pada 24.5.2), panjang pengembangan pada *strand* yang mengalami *debonding* tidak bisa diberikan tambahan angka faktor 2 (dua). Untuk dapat menganalisis penampang dengan kondisi *strand* yang mengalami *debonding* pada tempat dimana *strand* tidak mampu berkembang secara sempurna, digunakan langkah-langkah pada 21.2.3.
25.4.8.2 *Strand tujuh*-kawat harus dilekatkan paling sedikit sebesar ℓ_d diluar penampang kritis, kecuali yang disebutkan oleh 25.4.8.3.	
25.4.8.3 Penamanan yang kurang dari ℓ_d diizinkan pada penampang komponen struktur, asalkan tegangan desain *strand* pada penampang tersebut tidak melebihi nilai yang diperoleh dari hubungan bilinear yang didefinisikan pada Pers. (25.4.8.1).	**R25.4.8.3** Gambar R25.4.8.3 menunjukkan persamaan antara tegangan baja dan jarak dimana *strand* mengalami pengikatan dengan beton sesuai Pers. (25.4.8.1). Variasi tegangan *strand* dengan kondisi ideal ini digunakan untuk menganalisis penampang di dalam daerah penyaluran (Martin and Korkosz 1995; PCI MNL 120). Panjang transfer dan penambahan panjang lekatan dibutuhkan untuk menambahkan tegangan $(f_{ps} - f_{se})$ yang didasarkan pada pengujian pada batang prategang dengan diameter bersih *strand* sebesar 6,4, 9,5, dan 12,7 mm dan dengan nilai maksimum f_{ps} sebesar 1900 MPa (Kaar and Magura 1965; Hanson and Kaar 1959; Kaar et al. 1963).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 ℓ_d = jarak dari ujung bebas *strand* **Gambar R25.4.8.3 – Idealisasi hubungan bilinear antara tegangan baja dan jarak dari ujung bebas *strand***
25.4.9 *Penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan.*	**25.4.9** *Penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan.*
25.4.9.1 Panjang penyaluran ℓ_{dc} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus yang terbesar dari a) dan b) a) Panjang yang dihitung berdasarkan 25.4.9.2 b) 200 mm	**R25.4.9.1** Efek perlemahan yang disebabkan oleh retak akibat gaya tarik lentur tidak terdapat pada batang dan kawat pada daerah tekan, dan biasanya daya dukung ujung dari batang pada beton sangat bermanfaat. Oleh karena itu, panjang penyaluran yang lebih pendek digunakan secara lebih khusus pada daerah tekan dibandingkan dengan daerah daerah tarik.
25.4.9.2 Nilai ℓ_{dc} harus yang terbesar dari a) dan b), menggunakan faktor modifikasi sesuai dengan 25.4.9.3: a) $\left(\frac{0,24 f_y \Psi_r}{\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$ b) $0,043 f_y \Psi_r d_b$	**R25.4.9.2** Nilai konstanta 0,043 memiliki satuan mm^2/N. Koefisien λ didasarkan pada nilai penyaluran sesuai pada 25.4.9.2 mengingat tidak adanya data hasil pengujian pada penyaluran daerah tekan dengan menggunakan beton ringan sebagai bahan ujinya dimana pemisahan komponen sering terjadi pada beton ringan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.4.9.3 Untuk perhitungan ℓ_{dc}, faktor modifikasi harus mengikuti Tabel 25.4.9.3, kecuali faktor Ψ_r diizinkan untuk diambil sebesar 1,0.	**R25.4.9.3** Panjang penyaluran dapat direduksi sebanyak 25 persen ketika penulangan dilingkupi oleh tulangan spiral, sengkang ikat, atau sengkang pengekang yang memiliki spasi rapat.

Tabel 25.4.9.3 – Faktor modifikasi batang ulir dan kawat dalam kondisi tekan

Faktor modifikasi	Kondisi	Nilai
Bobot beton λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, apabila f_{ct} disyaratkan	Sesuai pada 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Tulangan pengekang Ψ_r	Tulangan dilingkupi oleh (1), (2), (3), atau (4): (1) tulangan spiral (2) tulangan lingkaran menerus dengan $d_b \geq$ 6 mm dan jarak 100 mm (3) Sengkang D13 atau pengikat kawat D10, yang sesuai 25.7.2 dengan spasi pusatnya ≤ 100 mm (4) Sengkang pengekang, yang sesuai 25.7.4 dengan spasinya ≤ 100 mm	0,75
	Lainnya	1,0

25.4.10 *Reduksi panjang penyaluran untuk tulangan lebih*	**25.4.10** *Reduksi panjang penyaluran untuk tulangan lebih*
25.4.10.1 Reduksi panjang penyaluran sesuai definisi pada 25.4.2.1(a), 25.4.3.1(a), 25.4.6.1(a), 25.4.7.1(a), dan 25.4.9.1(a) diizinkan, dengan menggunakan rasio $(A_{s,perlu})/(A_{s,terpasang})$, kecuali apabila dilarang oleh 25.4.10.2. Panjang penyaluran yang telah dimodifikasi tidak boleh kurang dari nilai minimum sesuai pada 25.4.2.1(b), 25.4.3.1(b), 25.4.3.1(c), 25.4.6.1(b), 25.4.7.1(b), dan 25.4.9.1(b).	**R25.4.10.1** Nilai reduksi pada panjang penyaluran ini diizinkan dengan batasan tertentu apabila penulangan berlebih terjadi.
25.4.10.2 Reduksi panjang penyaluran yang sesuai dengan 25.4.10.1 tidak diizinkan untuk kondisi a) hingga e).	**R25.4.10.2** Adanya faktor penulangan berlebih ($A_{s\ required}/A_{s,\ provided}$), diterapkan pada batang tulangan ulir tanpa kepala, dan tidak berlaku pada batang berkepala (*headed bar*) dimana gaya disalurkan melalui kombinasi tumpuan pada bagian kepala dan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Terletak pada tumpuan yang tidak menerus b) Terletak pada lokasi dimana pengangkuran atau penyaluran untuk f_y diperlukan c) Lokasi dimana dibutuhkan tulangan menerus d) Pada tulangan batang ulir berkepala dan angkur mekanis e) Pada struktur sistem penahan gaya seismik yang termasuk kategori desain seismik D, E, atau F	lekatan sepanjang batang. Pecahnya beton akibat gaya tumpu pada bagian kepala batang kemudian digunakan untuk memperbaiki ketentuan pada 25.4.4. Hal tersebut disebabkan oleh kekuatan jebol (*breakout*) beton dari batang berkepala merupakan fungsi dari kedalaman penanaman hingga pangkat 1,5 (merujuk pada Pers. 17.4.2.2a), nilai pengurangan pada panjang penyaluran dengan penggunaan faktor penulangan berlebih dapat menghasilkan kemungkinan terjadinya kegagalan jebol beton. Apabila komponen struktur lentur merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik, beban yang terjadi lebih besar daripada hasil desain dapat menyebabkan terjadinya pembalikan momen lentur pada daerah tumpuan; dimana penulangan positif harus dikembangkan secara penuh pada daerah tumpuan ini. Adanya sistem angkur ini dibutuhkan untuk memastikan respons daktail pada saat terjadi kelebihan tegangan (*overstress*), terutama apabila terjadi gempa atau adanya ledakan. Sehingga akan menjadi tidak lebih tepat apabila digunakan penulangan yang berlebih untuk tegangan terjadi yang lebih kecil. Nilai faktor reduksi yang didasarkan pada luasan tidak dapat digunakan pada kasus-kasus tersebut dimana penyaluran angkur untuk nilai penuh dari f_y dibutuhkan. Contohnya adalah faktor penulangan berlebih tidak dapat diterapkan untuk penyaluran tulangan susut (*shrinkage*) dan suhu yang sesuai pada 24.4.3.4 atau penyaluran tulangan yang seuai dengan pada 8.7.4.2, 8.8.1.6, 9.7.7, dan 9.8.1.6.
25.5 - Sambungan lewatan **25.5.1** Umum	**R25.5 - Sambungan lewatan** **R25.5.1** Panjang sambungan lewatan pada tulangan longitudinal pada kolom dihitung berdasarkan pada 10.7.5, 18.7.4.3, dan pada pasal ini.
25.5.1.1 Sambungan lewatan tidak diizinkan untuk tulangan yang lebih besar dari D36, kecuali kondisi yang diatur pada 25.5.5.3.	**R25.5.1.1** Dikarenakan kurangnya hasil data eksperimen yang cukup untuk sambungan lewatan pada tulangan D43 dan D57 untuk kondisi tekan dan tarik, menyebabkan sambungan lewatan pada tulangan tersebut dibatas kecuali sudah diizinkan sesuai pada 25.5.5.3 untuk sambungan lewatan dari tulangan D43 pada

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	daerah tekan dan tulangan D57 dengan diameter yang lebih kecil.
25.5.1.2 Untuk sambungan lewatan kontak, spasi bersih minimum antara sambungan lewatan kontak tersebut dan sambungan lewatan atau tulangan yang berdekatan harus sesuai dengan persyaratan untuk tulangan individual sesuai dengan 25.2.1.	
25.5.1.3 Untuk kondisi sambungan lewatan nonkontak pada komponen lentur, spasi antar pusat arah melintang dari tulangan lewatan tidak boleh melebihi yang terkecil dari 1/5 panjang sambungan lewatan yang dibutuhkan dan 150 mm.	**R25.5.1.3** Apabila tulangan individual pada sambungan lewatan tanpa kontak terlalu jauh jarak spasinya, penampang beton yang tidak memiliki tulangan akan tercipta. Dengan cara kita mendesain agar retak (*crack*) yang terjadi dipaksa untuk mengikuti garis zig-zag (dengan kemiringan 5:1) dapat dianggap sebagai tindakan pencegahan minimal. Jarak spasi 150 mm. Spasi maksimal digunakan karena banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan sambungan lewatan pada batang ulir dihubungkan dengan penulangan di dalam spasi ini.
25.5.1.4 Reduksi panjang penyaluran yang sesuai dengan 25.4.10.1 tidak diizinkan untuk menghitung panjang sambungan lewatan.	**R25.5.1.4** Panjang penyaluran ℓ_d digunakan untuk memperoleh panjang lewatan yang didasarkan pada f_y karena pembagian jenis sambungan lewatan yang ada mencerminkan penulangan berlebih pada lokasi dimana sambungan lewatan dipasang; sehingga nilai faktor dari 25.4.10.1 untuk nilai A_s berlebih tidak boleh digunakan.
25.5.1.5 Panjang penyaluran tulangan bundel harus sesuai dengan 25.6.1.7.	
25.5.2 *Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik*	**R25.5.2** *Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik*
R25.5.2.1 Panjang sambungan lewatan ℓ_{st} batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus disesuaikan dengan Tabel 25.5.2.1, dimana ℓ_d sesuai dengan 25.4.2.1(a).	**R25.5.2.1** Sambungan lewatan pada kondisi tarik dapat digolongkan menjadi Kelas A atau Kelas B, dengan panjang lewatan dari beberapa jenis panjang penyaluran tekan ℓ_d dihitung berdasarkan pada 25.4.2.2 atau 25.4.2.3. Persyaratan dari sambungan lewatan dua tingkat menyebabkan penyambungan tulangan dipasang pada posisi tegangan minimal dan adanya sambungan lewatan selang-seling untuk meningkatkan detail

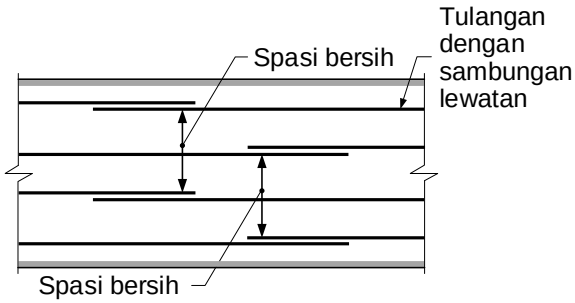
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN

perilaku kritis tersebut. Untuk penghitungan ℓ_d pada sambungan lewatan selang-seling, spasi bersih diambil sebagai jarak minimum antar sambungan lewatan yang berdekatan, atau seperti digambarkan pada Gambar R25.5.2.1.

Persyaratan sambungan lewatan kondisi tarik menyebabkan letak sambungan lewatan menjauh dari daerah tegangan tarik yang tinggi ke lokasi dimana tulangan digunakan paling sedikti dua kali dari yang dibutuhkan sesuai analisis.



Gambar R25.5.2.1 – Spasi bersih tulangan sambungan lewatan untuk menentukan nilai ℓ_d untuk sambungan lewatan selang-seling *(staggered)*

Tabel 25.5.2.1 – Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

$A_{s,t}$ /$A_{s,p}$[1] sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari A_s lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe *sambungan lewatan*	ℓ_{st}	
≥ 2,0	50	kelas A	terbesar dari	1,0 ℓ_d dan 300 mm
	100	kelas B	terbesar dari	1,3 ℓ_d dan 300 mm
< 2,0	semua kelas	kelas B		

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

[1] Rasio luas tulangan yang terpasang ($A_{s,t}$) terhadap luas tulangan yang diperlukan ($A_{s,p}$) sesuai analisis pada lokasi sambungan lewatan.

25.5.2.2 Apabila batang-batang dengan ukuran berbeda pada sambungan lewatan dalam kondisi tarik, ℓ_{st} harus lebih besar dari ℓ_d untuk diameter batang terbesar dan ℓ_{st} untuk diameter batang terkecil.

25.5.3 *Panjang sambungan lewatan jaring kawat ulir las dalam kondisi tarik*

25.5.3.1 Panjang sambungan lewatan tarik ℓ_{st} dari jaring kawat ulir las dalam kondisi tarik dengan persilangan kawat berada dalam panjang sambungan lewatan harus yang terbesar dari $1{,}3\ell_d$ dan 200 mm, dimana ℓ_d dihitung sesuai dengan 25.4.6.1(a), selama a) dan b) terpenuhi:

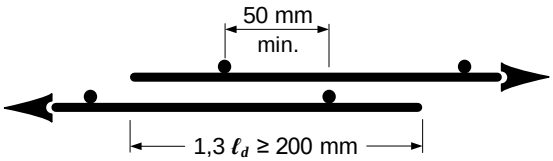
a) bagian lewatan antara persilangan kawat terluar pada masing-masing lembar jaringan paling sedikit 50 m
b) Jaringan kawat pada arah panjang penyaluran harus berupa kawat ulir D13 atau yang lebih kecil

25.5.3.1.1 Apabila 25.5.3.1(a) tidak terpenuhi, maka nilai ℓ_{st} harus dihitung berdasarkan 25.5.2.

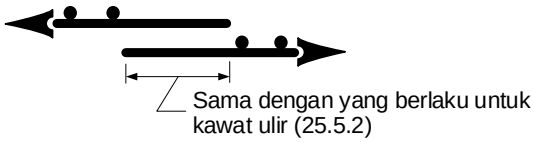
25.5.3.1.2 Apabila 25.5.3.1(b) tidak terpenuhi, maka ℓ_{st} harus dihitung berdasarkan pada 25.5.4.

25.5.3 *Panjang sambungan lewatan jaring kawat ulir las dalam kondisi tarik*

R25.5.3.1 Ketentuan sambungan lewatan untuk tulangan ulir yang dilas berdasarkan pada pengujian (Lloyd and Kesler 1969). Penggunaan sambungan lewatan pada tulangan kawat ulir yang dilas harus memenuhi persyaratan pada standar ini dan pada 25.5.3.1.1 yang kemudian digambarkan pada Gambar R25.5.3.1. Apabila tidak ada kawat melintang sepanjang sambungan lewatan, ketentuan untuk kawat ulir dapat diterapkan.



(a) Pasal 25.5.3.1a



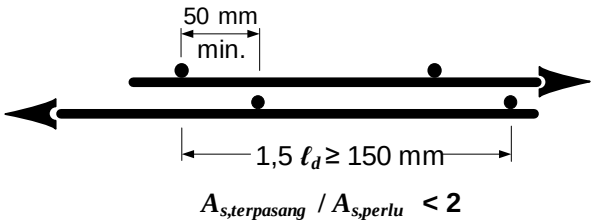
(b) Pasal 25.5.3.1.1

Gambar R25.5.3.1 – Sambungan lewatan pada jaring kawat ulir las

R25.5.3.1.2 Apabila ada kawat polos atau kawat ulir yang lebih besar dari D13, yang digunakan di dalam tulangan kawat ulir yang dilas pada arah sambungan lewatan atau ketika ada tulangan kawat ulir yang dilas yang mengalami sambungan lewatan dengan tulangan kawat polos yang dilas, maka penulangan seharusnya dibuat sambungan lewatan sesuai dengan persyaratan dari sambungan lewatan tulangan kawat polos yang dilas. Kawat ulir yang berukuran lebih dari D13 dianggap sebagai kawat polos karena hasil pengujian menunjukkan bahwa kawat D16 akan menerima hanya sekitar 60 persen dari

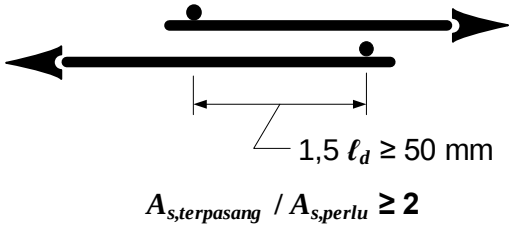
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kekuatan lekatan dalam kondisi tarik sesuai dengan Pers. 25.4.2.3a (Ruthledge and DeVries 2002).
25.5.3.1.3 Apabila jaring kawat ulir las diberikan lapisan seng (digalvanis), maka ℓ_{st} harus dihitung berdasarkan pada 25.5.4.	
25.5.4 *Panjang sambungan jaring kawat polos las dalam kondisi tarik*	**25.5.4** *Panjang sambungan jaring kawat polos las dalam kondisi tarik*
25.5.4.1 Panjang sambungan lewatan tarik ℓ_{st} dari jaring kawat polos las antar persilangan kawat paling luar pada masing-masing lembar jaringan harus diambil sedikitnya yang terbesar dari a) hingga c): a) s + **50 mm** b) **1,5**ℓ_d c) 150 mm Dimana s adalah spasi persilangan kawat dan ℓ_d dihitung berdasarkan pada 25.4.7.2(b).	**R25.5.4.1** Kekuatan sambungan lewatan pada tulangan kawat polos yang dilas sangat tergantung pada pengenkuran yang diperoleh dari potongan kawat melintang dibandingkan dengan panjang lewatan kawatnya. Untuk alasan ini, sambungan lewatan ditentukan dalam *overlap* atau kawat melintang (dalam satuan inch) dibandingkan dengan diameter atau panjang kawat itu sendiri. Penambahan panjang lewatan sebesar 50 mm diperlukan untuk menyediakan *overlap* yang cukup bagi kawat melintang dan mampu menyediakan spasi agar konsolidasi beton yang cukup di antara kawat-kawat melintang tersebut mampu terpenuhi. Penelitian (Lloyd 1971) menunjukkan hasil bahwa penambahan panjang lewatan diperlukan ketika tulangan yang dilas cukup besar, spasi kawat yang rapat disambung-lewatkan, sehingga konsekuensinya adalah persyaratan panjang sambungan lewatan tambahan digunakan pada penulangan tersebut sebagai tambahan sebesar minimum 150 mm. Persyaratan sambungan lewatan digambarkan pada Gambar R25.5.4.1. Apabila nilai dari $A_{s,terpasang} / A_{s,perlu} \geq 2$ melebihi panjang sambungan lewatan, ℓ_{st} ditentukan oleh 25.5.4.2.



Gambar R25.5.4.1 – Sambungan lewatan jaring kawat polos las bila $A_{s,terpasang} / A_{s,perlu} < 2$

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.5.4.2 Apabila $A_{s,terpasang}$ / $A_{s,perlu}$ ≥ **2.0** sepanjang sambungan lewatan, ℓ_{st} yang diukur antara pesilangan kawat paling luar pada masing-masing lembar jaringan diizinkan untuk diambil yang terbesar dari a) dan b). a) 1,5 ℓ_d b) 50 mm dimana ℓ_d dihitung sesuai 25.4.7.2(b).	**R25.5.4.2** Ketika nilai $A_{s,terpasang}$ / $A_{s,perlu}$ ≥ **2**, sambungan lewatan untuk tulangan kawat polos yang dilas ditunjukkan pada gambar R25.5.4.2.  **Gambar R25.5.4.2 – Sambungan lewatan jaring kawat polos las bila $A_{s,terpasang}$ / $A_{s,perlu}$ ≥ 2**
25.5.5 *Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tekan*	**R25.5.5** *Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tekan* – Penelitian mengenai lekatan lebih banyak mengamati terkait dengan tulangan pada kondisi tarik. Perilaku lekatan pada tulangan tekan tidak dipengaruhi oleh adanya masalah retak transversal tekan dan nantinya sambungan lewatan pada daerah tekan tidak memerlukan peraturan yang lebih ketat dibandingkan sambungan lewatan pada kondisi tarik. Persyaratan sambungan lewatan pada kolom terdapat pada Pasal 10.
25.5.5.1 Panjang sambungan lewatan tekan ℓ_{sc} pada batang ulir D36 atau yang lebih kecil harus dihitung sesuai dengan a) atau b): a) Untuk f_y ≤ **420 MPa**: nilai ℓ_{sc} harus yang terbesar dari **0,071** $f_y d_b$ dan 300 mm. b) Untuk f_y > **420 MPa**: nilai ℓ_{sc} harus yang terbesar dari **(0,13** f_y – **24)** d_b dan 300 mm. Untuk f_c' **< 21 MPa,** maka panjang sambungan lewatan harus ditambahkan sepertiganya.	**R25.5.5.1** Hasil penelitian (ACI Committee 408 1966; Pfister and Mattock 1963) menunjukkan bahwa kekuatan sambungan lewatan pada daerah tekan sangat tergantung pada tumpuan ujung dan nilainya tidak bertambah secara proporsional ketika panjang sambungan lewatan dibuat dua kali lipat. Dengan demikian, pada kekuatan leleh tertentu di atas mutu 420 MPa, panjang sambungan pada daerah tekan akan meningkat secara signifikan.
25.5.5.2 Sambungan lewatan tekan tidak diperkenankan digunakan untuk diameter yang lebih besar dari D36, kecuali diizinkan dalam 25.5.5.3.	
25.5.5.3 Sambungan lewatan tekan untuk batang D43 atau D57 hingga D36 atau batang yang lebih kecil diizinkan dan harus sesuai dengan 25.5.5.4.	**R25.5.5.3** Sambungan lewatan biasanya dibatasi untuk batang D43 atau D57. Untuk gaya tekan saja, meskipun sambungan lewatan diizinkan antara batang D43 atau

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	D57 dan digunakan batang D36 atau batang yang lebih kecil.
25.5.5.4 batang-batang dengan ukuran berbeda pada sambungan lewatan dalam kondisi tekan, ℓ_{sc} harus lebih besar dari ℓ_{dc} untuk batang lebih besar yang dihitung dengan 25.4.9.1 dan ℓ_{sc} untuk batang lebih kecil yang dihitung dengan 25.5.5.1.	
25.5.6 *Sambungan tumpuan ujung dalam kondisi tekan.*	**25.5.6** *Sambungan tumpuan ujung dalam kondisi tekan.*
25.5.6.1 Untuk batang-batang yang hanya diperlukan untuk tekan saja, penyaluran tegangan tekan oleh tumpuan ujung-ujung dengan potongan bujursangkar yang diikat dengan konsentris oleh alat yang sesuai diizinkan.	**R25.5.6.1** Pengalaman penggunaan sambungan lewatan ujung banyak ditemukan pada batang vertikal pada kolom. Apabila batang dimiringkan secara signifikan dari arah vertikal, maka perlu diperhatikan untuk memastikan tercapainya dan terjaganya kontak akibat tumpuan ujung yang cukup.
25.5.6.2 Sambungan tumpuan ujung hanya boleh digunakan pada komponen struktur yang diberi sengkang terturup, sengkang ikat, spiral, maupun sengkang pengekang.	**R25.5.6.2** Pembatasan ini untuk memastikan nilai tahanan geser minimum pada penampang yang mengandung sambungan lewatan akibat tumpuan ujung.
25.5.6.3 Ujung batang harus diakhiri pada permukaan yang datar dengan sudut 1,5 derajat dalam arah tegak lurus sumbu batang tulangan dan harus dipaskan dengan baik, maksimum dalam batas 3 derajat dari kondisi tertumpu sepenuhnya setelah pemasangan tulangan selesai.	**R25.5.6.3** Adanya toleransi ini untuk menggambarkan kondisi sesungguhnya berdasarkan penelitian menggunakan batang ukuran sebesarnya yang menggunakan batang D57.
25.5.7 *Sambungan mekanis dan las batang ulir dalam kondisi tarik atau tekan*	**R25.5.7** *Sambungan mekanis dan las batang ulir dalam kondisi tarik atau tekan* – Standar ACI 318-2014 menghilangkan sambungan mekanis dan las untuk kekuatan yang kurang dari **1,25**f_y. Dengan adanya penghilangan aturan ini maka istilah "secara penuh" juga dihilangkan pada sambungan mekanis dan las yang dikembangkan dengan nilai **1,25** f_y.
25.5.7.1 Sambungan mekanis atau sambungan las harus mampu mengembangkan tarik dan tekan, seperti disyaratkan, paling sedikit **1,25** f_y batang tulangan.	**R25.5.7.1** Tegangan tulangan maksimum yang digunakan pada standar ini merupakan tegangan leleh spesifik. Untuk memastikan dapat memberikan kekuatan yang cukup pada sambungan maka pelelehan dapat tercapai pada komponen struktur dan nantinya kegagalan getas

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	(*brittle)* dapat dihindari, dengan penambahan nilai sebesar 25 persen di atas tegangan leleh spesifik tersebut dipilih selain untuk menghasilkan nilai keamanan minimum yang memenuhi dan juga untuk memberikan efek ekonomis yang lebih maksimal. Sambungan yang dilas utamanya digunakan untuk batang dengan dimensi yang besar (D19 atau lebih besar). Persyaratan tegangan tarik yang senilai 125 persen lebih tinggi dari tegangan leleh spesifik dimaksudkan untuk menyediakan pengelasan yang baik sehingga hal ini juga cukup untuk tekan. Sedangkan las *direct butt* sudah tidak diperlukan lagi, mengingat peraturan AWS D1.4 menyatakan bahwa dimanapun digunakannya, las *direct butt* lebih cocok digunakan untuk tulangan D22 atau yang lebih besar.
25.5.7.2 Pengelasan pada batang tulangan harus memenuhi 26.6.4.	
25.5.7.3 Sambungan mekanis atau sambungan las tidak perlu dipasang selang-seling kecuali dipersyaratkan 25.5.7.4.	**R25.5.7.3** Meskipun sambungan mekanis dan sambungan lewatan las tidak perlu dipasang selang-seling, pemasangan selang-seling tersebut sebenarnya dianjurkan dan diperlukan untuk kemudahan konstruksi sehingga menyediakan spasi yang cukup di antara sambungan untuk pemasangannya atau untuk memenuhi persyaratan spasi bersih.
25.5.7.4 Sambungan pada komponen tarik tie harus dibuat dari sambungan mekanis atau las sesuai dengan 25.5.5.7.1. Sambungan pada tulangan yang bersebelahan harusnya dibuat selang-seling paling sedikit 750 mm.	**R25.5.7.4** Komponen tarik tie mempunyai karakteristik berikut: komponen yang mempunyai nilai tegangan aksial tarik yang cukup untuk menciptakan tarik pada seluruh penampang melintang; nilai tegangan tulangan pada tiap batang harus berupa tegangan yang efektif; dan dibatasi oleh selimut beton pada tiap sisi-sisinya. Contoh dari komponen yang dapat digolongkan sebagai komponen tarik tie (*tension ties*) adalah komponen tarik pada struktur pelengkung (*arch ties*), komponen penggantung (*hanger*) yang menahan beban pada struktur yang mendukung ke atas, dan elemen tarik utama pada sistem rangka batang. Untuk menentukan komonen dapat digolongkan sebagai komponen tarik tie (*tension ties)*, perlu diberikan pertimbangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	terkait keutamaan, fungsi, proporsi, dan kondisi tegangan pada tiap batang yang dihubungkan dengan karakteristik tersebut di atas. Contohnya adalah tangki besar berbentuk lingkaran, dengan begitu banyak tulangan dan sambungan lewatan yang dibuat selang-seling dan memiliki spasi yang lebar, tidak dapat digolongkan sebagai komponen tarik tie (*tension ties)*, dan sambungan Kelas B dapat digunakan untuk jenis ini.
25.6 - Bundel tulangan **25.6.1** *Tulangan nonprategang*	**R25.6 - Bundel tulangan** **R25.6.1** *Tulangan nonprategang*
25.6.1.1 Kumpulan batang tulangan sejajar menjadi satu bundel tulangan harus dibatasi hanya sebanyak empat batang pada setiap bundelnya.	**R25.6.1.1** Kalimat dalam standar “bundel menjadi satu yang perilaku sebagai satu unit” dimaksudkan untuk mencegah penggunaan bundel lebih dari dua batang pada bidang yang sama. Bentuk tipikal bundel tulangan pada penampang melintang adalah bentuk triangular, bentuk L, atau pola berbentuk kotak untuk tiga atau empat tulangan bundel. Untuk diperhatikan saat pelaksanaan, bundel tulangan dengan satu tulangan yang lebih dalam pada bidang lentur tidak boleh diberikan kait atau ditekuk menjadi satu unit tersendiri. Apabila kait ujung diperlukan, lebih baik untuk memberikan kait satu per satu pada tiap batang individual di dalam satu bundel tersebut.
25.6.1.2 Bundel tulangan harus dilingkupi dengan tulangan transverasal. Bundel tulangan pada komponen struktur tekan harus dilingkupi dengan tulangan transversal paling kecil ukuran D13.	
25.6.1.3 Batang dengan ukuran yang lebih besar dari D36 tidak boleh dibundel pada balok.	**R25.6.1.3** Pembatasan bahwa tulangan dengan dimensi yang lebih besar dari tulangan D36 tidak dapat digunakan sebagai bundel dalam elemen balok adalah batasan pelaksanaan dalam pembuatan ukuran batang. (AASHTO LRFDUS membatasi bundel dua tulangan untuk tulangan D43 dan D57 pada gelagar jembatan). Kesesuaian dengan persyaratan untuk mengontrol retak sesuai dengan 24.3 akan secara efektif mampu menghalangi dibuatnya bundel tulangan untuk tulangan tarik yang lebih besar dari tulangan D36.

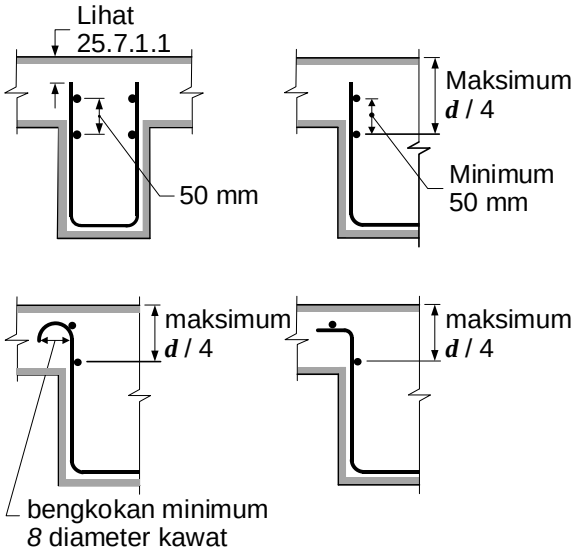
“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
25.6.1.4 Batang individual dalam bundel tulangan yang harus diputus pada bentang komponen lentur harus dihentikan pada lokasi yang berbeda paling sedikit dengan sela sejarak **40d_b**.	**R25.6.1.4** Penelitian mengenai lekatan (ACI Committee 408 1966) menunjukkan bahwa setiap pemutusan tulangan di dalam bundel dipasang selang-seling.
25.6.1.5 Panjang penyaluran untuk batang individual di dalam bundel tulangan, dalam kondisi tekan atau kondisi tarik, harus diambil sama dengan panjang penyaluran untuk masing – masing batang tersebut, ditambah dengan 20 persen untuk bundel tiga tulangan, dan sebesar 33 persen untuk bundel empat tulangan.	**R25.6.1.5** Penambahan panjang penyaluran untuk tiap batang individual dibutuhkan ketika tiga atau empat tulangan dibundel bersamaan. Penambahan ini dibutuhkan karena adanya sistem grup seperti ini menyulitkan untuk memobilisasi tahanan lekatan dari pusat antar batang. Pengembangan dari batang bundel tulangan dengan diberikan kait standar pada bundel tidak diatur dalam ketentuan 25.4.3.
25.6.1.6 Satu bundel tulangan harus diperlakukan sebagai satu buah tulangan dengan luasan yang setara dengan luas total ekuivalen dari batang-batang yang dibundel tersebut dan titik pusatnya berhimpit dengan titik pusat batang tulangan bundel. Diameter batang ekuivalen digunakan untuk d_b dalam a) hingga e): a) Batasan spasi berdasarkan d_b b) Persyaratan tebal selimut beton berdasarkan d_b c) Spasi dan tebal selimut beton sesuai 25.4.2.2 d) Pengekangan sesuai 25.4.2.3 e) Faktor Ψ_e sesuai 25.4.2.4	**R25.6.1.6** Meskipun sambungan dan panjang penyaluran dari bundel tulangan merupakan kelipatan dari diameter tiap batang penyusunnya yang ditambahkan sebesar 20 atau 33 persen, sehingga sudah sewajarnya, apabila digunakan diameter yang setara pada seluruh bundel tulangan yang diturunkan dari persamaan total luasan tulangan untuk menentukan spasi dan tebal selimut sesuai 25.4.2.2, faktor kekangan **[(c_b + K_{tr})/d_b]** sesuai 25.4.2.3, dan faktor Ψ_e sesuai 25.4.2.4. Untuk bundel tulangan, diameter batang d_b yang berada di luar tanda kurung besar pada persamaan di 25.4.2.2. dan Pers. (25.4.2.3a) adalah untuk satu batang tulangan.
25.6.1.7 Sambungan lewatan pada bundel tulangan harus didasarkan pada panjang sambungan lewatan yang dibutuhkan batang individual di dalam bundel, yang diperpanjang sesuai 25.6.1.5. Setiap batang tulangan yang disambung didalam bundel tidak boleh saling tumpang tindih. Keseluruhan bundel tulangan tidak boleh menggunakan sambungan lewatan.	**R25.6.1.7** Penambahan panjang lewatan yang dibutuhkan batang pada bundel tulangan didasarkan pada pengurangan keliling terekspos dari batang. Hanya batang individual yang disambung-lewatkan sepanjang bundel tulangan.
25.6.2 *Selongsong (ducting) pascatarik*	**R25.6.2** *Selongsong (ducting) pascatarik*
25.6.2.1 Bundel dari *ducting* pascatarik diizinkan digunakan bila dapat ditunjukkan bahwa beton dapat dicor dengan baik, serta telah disediakan kemanan untuk	**R25.6.2.1** Apabila selongsong (*duct)* atau kabel untuk baja prategang atau baja pratarik dalam balok ditempatkan saling berdekatan dalam arah vertikal, ketentuan harus digunakan untuk mencegah baja

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
mencegah baja prategang merusak ducting bila baja prategang ditarik.	pratarik mengalami pecah keluar melalui selongsong ketika diberikan tegangan. Penempatan selongsong arah horizontal harus memudahkan penempatan atau pengecoran beton. Spasi bersih sebesar 1⅓ kali dari ukuran nominal maksimum dari agregat kasar, tetapi tidak kurang dari 25 mm, harus dapat dibuktikan mencukupi. Apabila konsentrasi dari tendon atau selongsong dianggap akan menciptakan bidang yang lebih lemah pada selimut beton, maka tulangan harus disediakan mengontrol retak.
25.7 - Tulangan transversal **25.7.1** *Sengkang*	**R25.7 - Tulangan transversal** **R25.7.1** *Sengkang*
25.7.1.1 Sengkang harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan tekan dan tarik komponen struktur sejauh masih diperkenankan oleh batasan selimut beton dan jarak dengan tulangan lain dan harus diangkur ke dalam beton di kedua ujungnya. Jika digunakan sebagai tulangan geser, sengkang harus diteruskan sejarak d dari serat tekan terjauh.	**R25.7.1.1** Kaki (*leg*) sengkang harus diperpanjang sedekat mungkin ke muka daerah tekan komponen karena retak tarik lentur di dekat beban *ultimate* akan mempenetrasi ke daerah tekan. Tulangan geser dan torsi harus dipasang dengan kekuatan yang cukup pada kedua ujungnya untuk mencegah potensi terjadinya retak miring. Oleh karena itu dibutuhkan kait atau bengkokkan pada ujung tulangan.
25.7.1.2 Di antara ujung-ujung angkur, setiap bengkokan sengkang U-tunggal atau U-majemuk dan setiap bengkokan pada sengkang tertutup, harus melingkupi tulangan longitudinal atau *strand*.	
25.7.1.3 Angkur tulangan ulir dan kawat harus memenuhi persyaratan a), b), atau c): a) Untuk batang D16 dan kawat D13 dan yang lebih kecil, dan untk batang D19 hingga D25 dengan f_{yt} **≤ 280 MPa**, digunakan kait standar mengitari tulangan longitudinal. b) Untuk batang D19 hingga D25 dengan f_{yt} **> 280 MPa**, digunakan kait standar mengitari tulangan longitudinal ditambah penanaman antara tengah tinggi komponen strktur dan ujung sisi terluar dengan kait sama dengan atau lebih dari **0,17** d_b f_{yt} / **(**$\lambda\sqrt{f_c'}$**)**, nilai λ diberikan pada Tabel 25.4.3.2.	**R25.7.1.3** Sengkang yang terbuat dari batang ulir lurus dan kawat angkur tidak boleh digunakan, karena sengkang dengan material tersebut cukup sulit untuk ditahan posisinya saat proses pengecoran. Selain itu, tidak adanya kait standar sengkang dapat membuat sengkang tidak efektif karena letaknya melintasi retak geser di dekat ujung sengkang. Untuk tulangan D16 atau kawat D13 atau kawat lain yang lebih kecil, kait standar digunakan sebagai angkur, seperti yang tercantum pada 25.3.2, yang dipasang di sekitar tulangan longitudinal. Untuk tulangan sengkang D19, D22, atau D25 dengan f_{yt} sebesar 280 MPa, cukup menggunakan kait standar yang dipasang di sekitar tulangan longitudinal. Untuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
c) Pada konstruksi pelat berusuk (*joist*), untuk batang D13 dan kawat D10 dan yang lebih kecil, gunakan kait standar.	tulangan sengkang D19, D22, atau D25 yang berkekuatan lebih tinggi, panjang penanaman harus dicek terlebih dahulu. Kait dengan sudut 135 atau 180 derajat dapat dipakai, tetapi kait dengan sudut 90 derajat dapat digunakan yang memeberikan ujung bebas kait dengan sudut 90 derajat diteruskan untuk batang diameter 12 sesuai dengan 25.3.2. Karena tulangan D19, D22, atau D25 tidak bisa ditekuk rapat di sekitar tulangan longitudinal, serta gaya di tulangan dengan tegangan desain lebih besar dari 280 MPa, angkur sengkang dipilih berdasarkan jenis kait dan panjang penyaluran. Tulangan longitudinal dengan kait sengkang membatasi lebar retak lentur, bahkan di daerah tarik. Karena kait sengkang tidak dapat gagal oleh belah beton paralel terhadap bidang batang kait, kekuatan kait seperti yang dijelaskan pada 25.4.3.1(a) disesuaikan dengan selimut dan kekangan (*confinement*) di sekitar kait sengkang. Pada pelat berusuk, tulangan atau kawat yang kecil dapat di angkur menggunakan kait standar yang tidak berinteraksi dengan tulangan longitundal, sehingga rangkaian sengkang dengan kaki tunggal akan terbentuk di sepanjang balok pelat berusuk.
25.7.1.4 Pengangkuran pada setiap kaki jaring kawat polos las membentuk sengkang–U tunggal harus memenuhi persyaratan a) atau b): a) Dua kawat longitudinal yang dipasang dengan spasi 50 mm sepanjang komponen struktur yang diletakan di bagian atas sengkang U. b) Satu kawat longitudinal yang dipasang tidak lebih dari $d/4$ dari permukaan tekan dan kawat kedua yang dipasang lebih dekat pada permukaan tekan dengan spasi tidak kurang dari 50 mm dari kawat pertama. Kawat kedua boleh diletakkan pada kaki sengkang diluar lengkungan, atau didalam lengkungan dengan diameter dalam lengkungan tidak kurang dari $8d_b$.	**R25.7.1.4** Persyaratan angkur untuk tulangan kawat polos las diilustrasikan pada Gambar R25.7.1.4.  **Gambar R25.7.1.4 – Angkur pada daerah serat tekan dengan jaring kawat polos las pada sengkang-U**

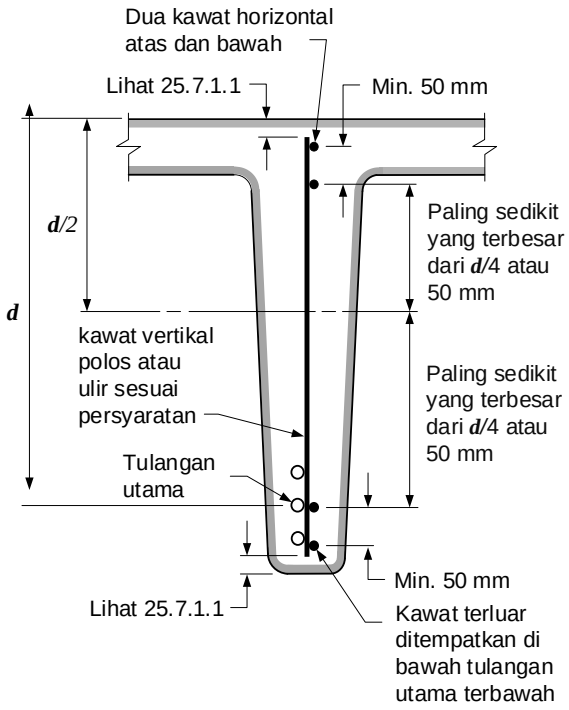
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.7.1.5 Pengangkuran untuk setiap ujung sengkang kaki tunggal dari jaring kawat las harus dipasang dua kawat longitudinal dengan spasi minimum 50 mm sesuai persyaratan a) dan b): a) Bagian dalam kawat longitudinal setidaknya lebih besar dari $d/4$ atau 50 mm dari $d/2$. b) Bagian luar kawat longitudinal pada permukaan tarik tidak boleh ditempatkan pada posisi yang lebih jauh dari muka tarik tersebut bila dibandingkan dengan posisi tulangan lentur utama yang terdekat dengan muka tersebut.	**R25.7.1.5** Kawat las untuk tulangan geser umumnya dipakai dalam beton pracetak dan prategang. Penjelasan mengenai penggunaan jaring kawat las untuk tulangan geser tercantum pada laporan Joint PCI/WRI Ad Hoc Committee on Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement (1980). Ketentuan untuk angkur pada kawat las dengan kaki tunggal pada muka tarik menekankan penempatan kawat longitudinal dengan ketinggian yang sama dengan tulangan lentur utama, untuk mencegah terjadinya potensi belah (*splitting*) pada tulangan tarik. Gambar R25.7.1.5 mengilustrasikan persyaratan angkur untuk kawat yang di las dengan kaki tunggal. Untuk kawat yang di las dengan kaki tunggal, diperbolehkan kait dan panjang penanaman pada muka tekan dan tarik batang (mengacu pada 25.7.1.3(a) dan 25.7.1.4), dan penanaman yang dilakukan hanya pada muka tekan (mengacu pada 25.7.1.3(b)). Subpasal ini menjelaskan angkur untuk untuk kawat lurus yang di las dengan kaki tunggal menggunakan angkur kawat longitudinal dengan panjang penanaman yang cukup pada muka tekan dan tarik komponen struktur.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R25.7.1.5 – Angkur pada kawat yang di las dengan kaki tunggal untuk geser

25.7.1.6 Sengkang yang digunakan untuk penulangan torsi atau integritas harus berupa sengkang tertutup yang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur. Bila jaring kawat las digunakan, kawat transversal harus tegak lurus dengan sumbu komponen struktur. Sengkang tersebut harus di angkur dengan syarat a) atau b):

a) Ujungnya diakhiri dengan kait standar bersudut 135 derajat melingkari tulangan longitudinal
b) Sesuai dengan 25.7.1.3(a) atau (b) atau 25.7.1.4, dimana beton di sekeliling angkur dicegah terhadap pengelupasan beton (*spalling*) oleh sayap, pelat atau komponen struktur yang sama

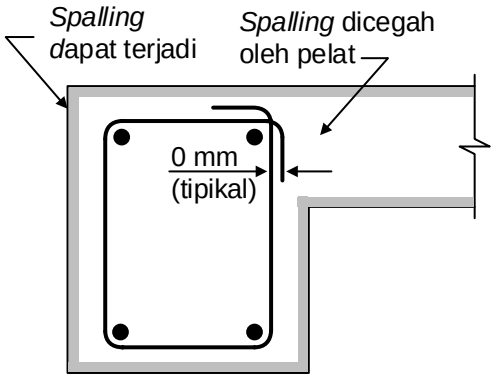
R25.7.1.6. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal tertutup diperlukan mampu menahan tegangan tarik diagonal yang diakibatkan oleh torsi. Penggunaan sengkang tertutup dianjurkan karena adanya potensi terjadinya retak miring yang disebabkan oleh torsi dapat terjadi pada semua bagian di muka komponen struktur.

Untuk penampang yang menerima torsi, selimut beton yang melindungi sengkang dapat berpotensi pecah karena momen torsi yang tinggi (Mitchell and Collins 1976). Hal ini menyebabkan sengkang dengan sambungan lewatan menjadi tidak efektif, sehingga akan terjadi runtuh torsi prematur (Behera and Rajagopalan 1969). Sehingga dalam kasus ini, sengkang tertutup tidak dapat dibuat dengan sengkang-U.

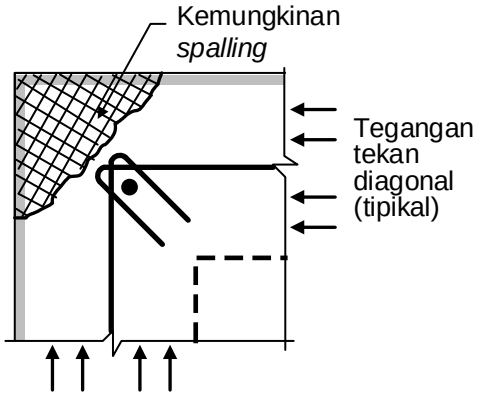
Jika balok persegi mengalami runtuh torsi, sudut penampang balok cenderung pecah karena tegangan tekan miring yang disebabkan oleh perubahan arah rangka batang ruang (*space truss*) di sudut balok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.7.1.6(a). Pada uji (Mitchell and Collins 1976), sengkang tertutup yang di angkur dengan kait bersudut 90 derajat runtuh ketika hal ini terjadi. Oleh karena itu, kait

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	standar bersudut 135 derajat atau kait seismik lebih cocok digunakan untuk sengkang torsi. Untuk daerah dimana potensi pecah telah dicegah dengan adanya pelat atau sayap balok, 25.7.1.6(b) mengurangi persyaratan ini dan memperbolehkan penggunaan kait bersudut 90 derajat karena adanya tambahan kekuatan kekangan dari pelat (mengacu pada Gambar R25.7.1.6(b)).



(a) Potongan melintang

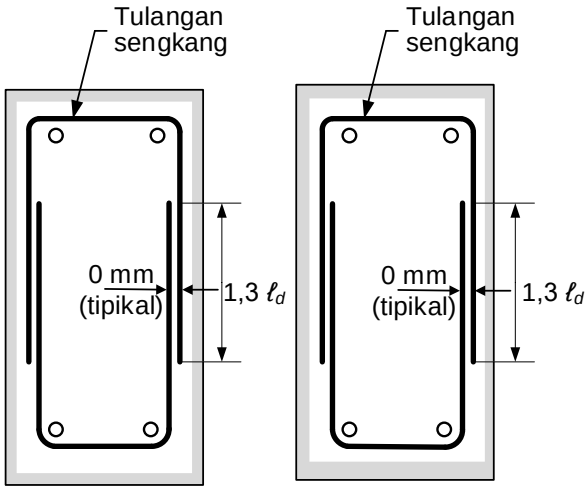


(b) Detail pada sudut

Gambar R25.7.1.6 – *Spalling* pada sudut balok akibat torsi

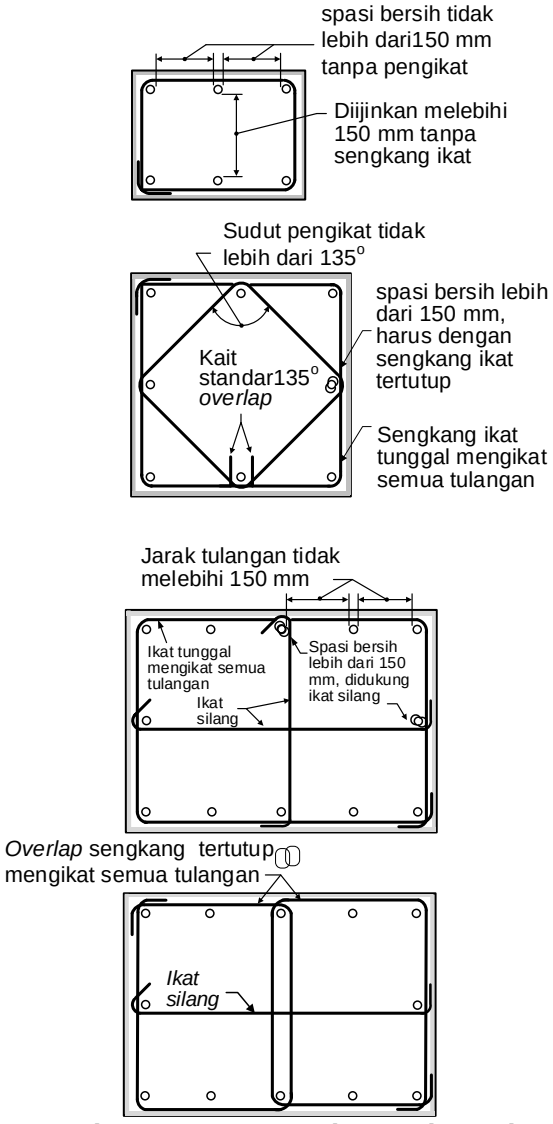
25.7.1.7 Kecuali bila digunakan untuk tulangan torsi dan integritas, Sengkang tertutup boleh dibuat menggunakan sepasang sengkang-U yang disambung dimana panjang sambungan setidaknya **1,3**ℓ_d. Untuk komponen dengan tinggi total setidaknya 450 mm, sambungan dengan nilai $A_b f_{yt} \leq$ **40 kN** per kaki dianggap cukup jika panjang kaki sengkang mencapai tinggi maksimum komponen.	**R25.7.1.7** Persyaratan pemasangan sengkang-U g*and*a untuk membentuk sengkang tertutup di atas sambungan lewatan sesuai 25.5.2. Gambar R25.7.1.7 mengilustrasikan konfigurasi sengkang tertutup yang dibuat dengan sambungan lewatan.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R25.7.1.7 – Konfigurasi sengkang tertutup**
25.7.2 *Sengkang ikat*	**25.7.2** *Sengkang ikat*
25.7.2.1 Sengkang ikat harus terdiri dari tulangan ulir berbentuk sengkang tertutup dengan spasi sesuai ketentuan a) dan b): a) Spasi bersih minimum **(4/3)**d_{agg} b) Spasi pusat ke pusat sengkang tidak melebihi nilai terkecil dari **16**d_b tulangan longitudinal, **48**d_b sengkang ikat, dan dimensi terkecil komponen struktur	
25.7.2.2 Diameter tulangan sengkang ikat harus memenuhi a) atau b): a) D10 yang melingkari tulangan longitudinal D32 atau yang lebih kecil b) D13 yang melingkari tulangan longitudinal D36 atau yang lebih besar atau bundel tulangan longitudinal	**R25.7.2.2** Ketentuan ini berlaku untuk tulangan ikat silang dan sengkang ikat.
25.7.2.2.1 Sebagai alternatif batang ulir**,** kawat ulir atau jaring kawat dengan luas tulangan yang ekuivalen yang disyaratkan dalam 25.7.2.1 boleh digunakan selama memenuhi persyaratan Tabel 20.2.2.4a.	
25.7.2.3 Sengkang ikat persegi harus memenuhi a) dan b): a) Setiap sudut dan tulangan longitudinal bersebelahan harus mempunyai tumpuan lateral oleh sudut sengkang dengan sudut ujung sengkang ikat tidak lebih dari 135 derajat	**R25.7.2.3** Ilustrasi mengenai sudut 135 derajat dan spasi bersih tulangan 150 mm pada tiap sisi dijelaskan pada Gambar. R25.7.2.3a. Pengujian terbatas (Pfister 1964) pada kolom dengan ukuran penuh, dibebani aksial, tulangan dipasang panjang penuh tanpa sambungan lewatan menunjukkan bahwa pengikat pada

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Tulangan yang tidak ditumpu harus berjarak lebih kecil dari 150 mm sepanjang sengkang dari tumpuan lateralnya	tulangan longitudinal yang berselang-seling dengan jarak bersih 150 mm tulangan longitudinal didukung secara lateral cukup memadai untuk kolom menerima beban aksial. Kawat menerus dapat dianggap sebagai sengkang ikat, jika luasnya ekuivalen dengan luas dan jarak pemisah sengkang ikat. Angkur pada ujung kawat berupa kait standar (mengacu pada Gambar R25.7.2.3b). Kawat menerus berbentuk lingkaran dianggap tulangan spiral jika sesuai dengan 25.7.3; jika tidak sesuai, maka kawat dianggap sebagai tulangan sengkang ikat.



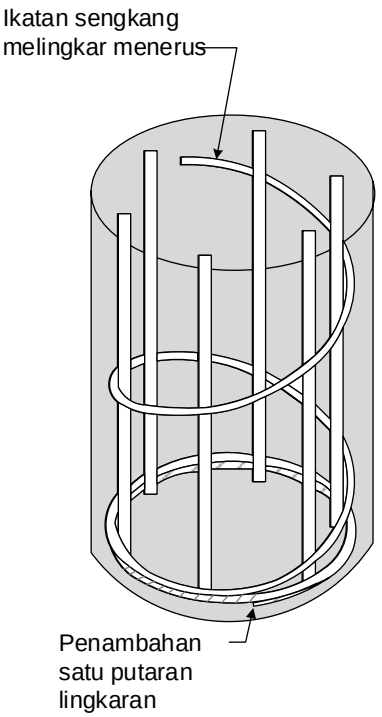
Gambar R25.7.2.3a – Ilustrasi untuk menggambarkan perbandingan antara tulangan kolom yang ditumpu lateral dan pengakuran sengkag ikat persegi

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

PENJELASAN



Gambar R25.7.2.3b – Pengangkuran sengkang lingkaran menerus

25.7.2.3.1 Pengangkuran sengkang persegi harus berupa kait standar yang memenuhi 25.3.2 dan melingkari tulangan longitudinal. Tulangan sengkang ikat tidak boleh terbuat dari tulangan ulir berkepala yang saling mengikat.

R25.7.2.3.1 Sengkang ikat kait standar ditujukan untuk penggunaan dengan tulangan ulir dan jika memungkinkan disambung secara selang seling (*staggered*).

25.7.2.4 Tulangan sengkang ikat lingkaran boleh digunakan apabila tulangan longitudinal dipasang melingkar di sekeliling sebuah lingkaran.

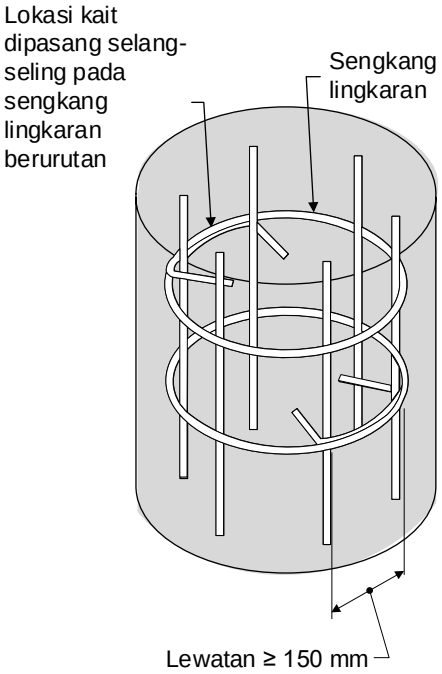
R25.7.2.4 Tulangan transversal pada batang dengan tulangan longitudinal yang ditempatkan di sekitar keliling lingkaran dapat berbentuk spiral maupun lingkaran, umumnya bentuk spiral lebih efektif.

25.7.2.4.1 Pengangkuran sengkang ikat lingkaran individual harus sesuai dengan a) hingga c)

a) Bagian ujung harus disambunglewatkan sedikitnya 150 mm
b) Bagian akhir harus diputus dengan kait st*and*ard sesuai dengan 25.3.2 yang mengikat sebuah batang longitudinal
c) Lewatan pada bagian ujung sengkang lingkaran yang bersebelahan harus dipasang selang-seling di sekitar perimeter melingkupi tulangan longitudinal.

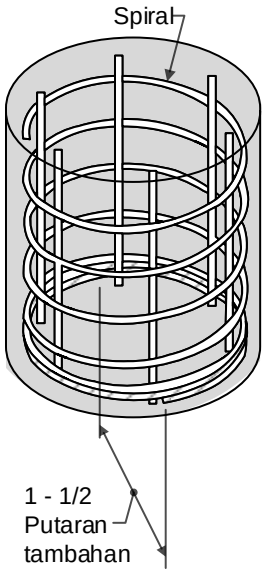
R25.7.2.4.1 Pembelahan (*splitting*) vertikal dan kehilangan tahanan kekangan oleh tulangan sengkang ikat dapat terjadi apabila ujung tulangan sengkang ikat yang saling tumpeng tindih di angkur menggunakan tulangan longitudinal tunggal. Tulangan sengkang ikat yang berdekatan tidak boleh mengikat tulangan longitudinal yang sama pada ujung kait angkur (mengacu pada Gambar. R25.7.2.4).

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R25.7.2.4 – Pengangkuran sengkang ikat lingkaran**
25.7.2.5 Sengkang ikat untuk menahan torsi harus tegak lurus dengan sumbu komponen struktur yang diangkur oleh a) atau b): a) Ujungnya berakhir dengan kait standar bersudut 135 derajat atau kait seismik memutari tulangan longitudinal b) Sesuai dengan 25.7.1.3 (a) atau (b) atau 25.7.1.4, dimana beton yang mengelilingi angkur dikekang untuk mencegah pengelupasan beton	**R25.7.2.5** Mengacu pada R25.7.1.6
25.7.3 *Tulangan spiral*	**R25.7.3** *Tulangan spiral*
25.7.3.1 Tulangan spiral terdiri dari tulangan atau kawat menerus dengan spasi sama dengan spasi bersih sesuai dengan a) dan b): a) Setidaknya lebih besar dari 25 mm dan **(4/3)**d_{agg} b) Tidak lebih dari 75 mm	**R25.7.3.1** Tulangan spiral harus ditahan pada tempatnya, dengan jarak antar tulangan dan susunan yang benar untuk mencegah terjadinya perpindahan (*displacement*) ketika proses pengecoran.
25.7.3.2 Untuk konstruksi cor di tempat, nilai diameter batang atau kawat spiral minimal 9,5 mm.	**R25.7.3.2** Dengan pertimbangan aspek penerapan pada konstruksi dengan metode cor di tempat, diameter minimal untuk tulangan spiral adalah 9,5 mm (tulangan ulir

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	atau polos D10, atau kawat ulir D8, atau kawat polos ∅8). Ukuran standar diameter tulangan spiral adalah 9,5, 12,7, dan 15,9 mm untuk material canai panas maupun dingin, tulangan polos atau ulir.
25.7.3.3 Rasio volumetrik tulangan spiral ρ_s, harus memenuhi Pers. (25.7.3.3). $$\rho_s \geq 0,45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad (25.7.3.3)$$ dimana nilai f_{yt} tidak boleh lebih besar dari 700 MPa.	**R25.7.3.3** Pengaruh tulangan spiral dalam meningkatkan kekuatan inti beton tidak terlihat sampai kolom menerima beban dan deformasi yang cukup untuk membuat kulit beton pecah. Jumlah tulangan spiral yang dibutuhkan oleh Pers. (25.7.3.3) ditujukan untuk memberikan kekuatan tambahan untuk kolom yang menerima beban konsentris yang sama dengan atau sedikit lebih besar dari kekuatan yang hilang ketika kulit beton pecah. Penurunan Pers. (25.7.3.3) diberikan oleh Richart (1933). Hasil uji menunjukkan bahwa kolom yang dipasang tulangan spiral mempunyai daktilitas dan ketegaran yang cukup baik. Riset (Richard et al. 1929; Richart 1933; Pessiki et al 2001; Saatcioglu *and* Razvi 2002) mengindikasikan bahwa kekuatan leleh tulangan yang dapat digunakan sebagai pengekang mencapai 700 MPa.
25.7.3.4 Tulangan spiral harus diangkur dengan 1-1/2 putaran tambahan batang spiral atau kawat di setiap ujungnya.	**R25.7.3.4** Angkur spiral diilustrasikan pada Gambar R25.7.3.4.  **Gambar R25.7.3.4 – Pengangkuran spiral**
25.7.3.5 Tulangan spiral dapat disambung dengan a) atau b):	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

a) Sambungan mekanis atau las yang memenuhi 25.5.7
b) Sambungan lewatan yang sesuai dengan 25.7.3.6 untuk f_{yt} tidak melebihi 420 Mpa

25.7.3.6 Sambungan lewatan spiral harus lebih dari 300 mm dengan panjang lewatan sesuai Tabel 25.7.3.6.

Tabel 25.7.3.6 – Panjang lewatan untuk tulangan spiral

Tulangan	Lapisan	Ujung batang atau kawat spiral yang dilewatkan	Panjang lewatan mm
Batang ulir	Tidak dilapisi atau lapis seng (galvanis)	Tidak perlu kait	$48d_b$
	Lapis epoksi atau seng dan lapis ganda epoksi	Tidak perlu kait	$72d_b$
		Kait standar 25.3.2[1]	$48d_b$
Kawat ulir	Tidak dilapisi	Tidak perlu kait	$48d_b$
	Lapis epoksi	Tidak perlu kait	$72d_b$
		Kait standar 25.3.2[1]	$48d_b$
Batang polos	Tidak dilapisi atau lapis seng (galvanis)	Tidak perlu kait	$72d_b$
		Kait standar 25.3.2[1]	$48d_b$
Kawat polos	Tidak dilapisi	Tidak perlu kait	$72d_b$
		Kait standar 25.3.2[1]	$48d_b$

[1]Kait ditanam di dalam inti beton yang dikekang oleh spiral

25.7.4 *Sengkang pengekang*

25.7.4.1 Sengkang pengekang (*hoops*) terdiri dari tulangan sengkang tertutup atau tulangan sengkang lingakaran menerus, yang terdiri dari beberapa elemen tulangan yang masing–masing memiliki kait seismik di kedua ujungnya.

PENJELASAN

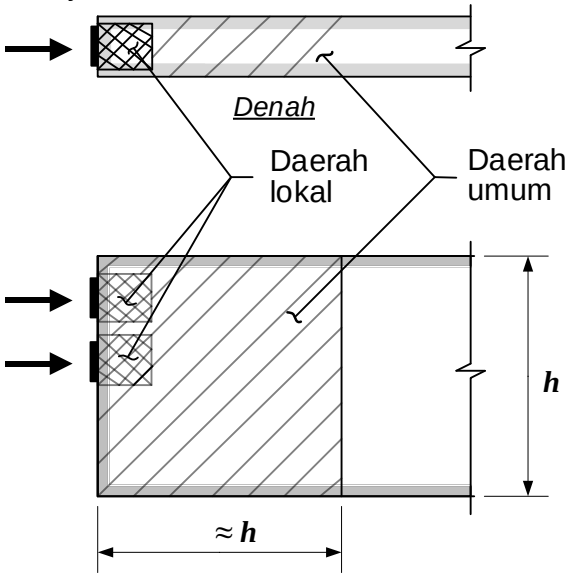
R25.7.4 *Sengkang pengekang*

R25.7.4.1 Mengacu pada R25.7.2.4.

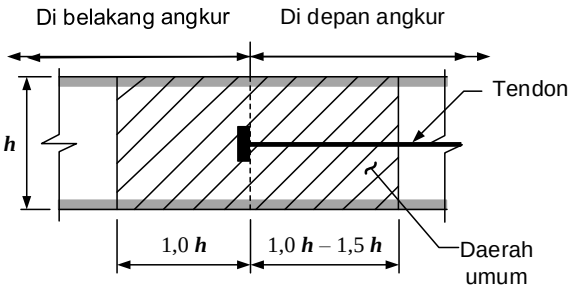
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.7.4.2 Di ujung elemen tulangan pada sengkang pengekang harus di angkur menggunakan kait seismik yang memenuhi 25.3.4 dan dikaitkan dengan tulangan longitudinal. Sengkang pengekang tidak boleh terbuat dari batang ulir berkepala yang saling mengikat.	
25.8 - Angkur pascatarik dan kopler	**R25.8 - Angkur pascatarik dan kopler**
25.8.1 Angkur dan kopler untuk tendon harus menyalurkan kekuatan setidaknya 95 persen dari nilai f_{pu} jika diuji dalam kondisi tanpa lekatan (*unbonded*), tanpa melebihi nilai set yang diantisipasi.	**R25.8.1** Kekuatan yang dibutuhkan untuk angkur-tendon atau tendon-sambungan berlaku juga untuk tendon dengan atau tanpa lekatan, jika diuji dalam kondisi tanpa lekatan, berdasarkan 95 persen kekuatan tarik spesifik dari baja prategang dalam pengujian. Pengujian baja dibutuhkan untuk memenuhi ketentuan minimum dari standar ASTM yang disebutkan pada 20.3.1. Kekuatan angkur dan penyambung melebihi kekuatan desain maksimum dari baja prategang dalam jumlah yang cukup besar, di sisi lain, terjadi efek peningkatan tegangan (*stress-raiser)* yang berhubungan dengan angkur dan sambungan pascatarik. Kekuatan angkur dan penyambung harus diperoleh dengan besar deformasi permanen, dan *set* yang minimum, dengan pengertian bahwa deformasi dan *set* akan terjadi ketika pengujian. Susunan tendon harus memenuhi syarat 2 persen perpanjangan yang tertera pada ACI 423.7. Metode uji statis dan fatik untuk angkur dan penyambung tertera dalam ICC-ES *Acceptance Criteria* AC303 (2011).
25.8.2 Angkur dan kopler untuk tendon dengan lekatan harus ditempatkan sehingga 100 persen dari nilai f_{pu} dapat disalurkan pada penampang kritis setelah tulangan pascatarik terekat pada komponen struktur.	**R25.8.2** Angkur dan penyambung untuk tendon dengan lekatan yang mengembangkan kurang dari 100 persen kekuatan tarik yang dispesifikasikan dari baja prategang hanya boleh digunakan jika panjang transfer lekatan antara angkur atau penyambung dan penampang kritis sama dengan atau melebihi nilai yang disyaratkan untuk mengembangkan kekuatan baja prategang. Panjang lekatan ini dapat dihitung berdasarkan hasil pengujian karakteristik lekat dari *strand* prategang yang tidak ditarik (Salmons and McCrate 1977), atau uji lekat pada material baja prategang lainnya.
25.8.3 Dalam konstruksi tanpa lekatan yang menerima beban berulang, kemungkinan terjadinya fatik (*fatigue*)	**R25.8.3** Hasil diskusi mengenai beban fatik dijelaskan dalam ACI 215R.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pada tulangan prategang di angkur dan kopler harus dipertimbangkan.	Penjelasan mendetail mengenai pengujian dengan beban statis dan siklik untuk tendon dan angkur dari tendon tanpa lekatan terdapat dalam ACI 423.3R (pasal 4.1.3) dan ACI 301 (pasal 15.2.2).
25.8.4 Kopler harus ditempatkan di lokasi yang disetujui oleh perencana ahli bersertifikat dan ditutup cukup lama untuk memberikan ruang terhadap pergerakan tertentu.	
25.9 - Daerah angkur untuk tendon pascatarik **25.9.1** *Umum*	**25.9 - Daerah angkur untuk tendon pascatarik** **R25.9.1** *Umum* – Ketentuan pendetailan dalam *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO LRFDUS) untuk analisis dan penulangan daerah angkur pascatarik adalah memadai untuk standar ini. Standar ini juga merujuk pada pedoman AASTHO untuk daerah khusus di sekitar angkur, serta peralatan dan pengujian kelayakannya.
25.9.1.1 Daerah angkur tendon pascatarik terdiri dari dua daerah a) dan b): a) Daerah lokal harus dianggap sebagai prisma empat persegi panjang beton (atau ekuivalen prisma persegi untuk angkur lingkaran atau oval) yang secara langsung mengelilingi perangkat angkur serta tulangan kekangan. b) Daerah umum termasuk daerah lokal dan daerah yang dianggap sebagai bagian komponen struktur dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke beton dan disebarkan secara lebih merata ke seluruh bagian penampang.	**R25.9.1.1.** Berdasarkan atas prinsip St. Venant, lingkup daerah angkur diestimasi kira-kira sama dengan dimensi penampang yang terbesar. Daerah lokal dan umum ditunjukkan dalam Gambar R25.9.1.1a  *Potongan elevasi penampang* **Gambar R25.9.1.1a – Daerah lokal dan daerah umum**

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 *Potongan melalui pelat pada lokasi angkur* **Gambar R25.9.1.1b – Daerah umum untuk angkur yang ditempatkan jauh dari ujung komponen struktur**
25.9.1.2 Daerah lokal harus direncanakan mengikuti 25.9.3	
25.9.1.3 Daerah umum harus direncanakan mengukuti 25.9.4	
25.9.1.4 Kekuatan tekan beton yang diperlukan pada saat penarikan tendon ditentukan berdasarkan 26.10.	
25.9.1.5 Tahapan proses penarikan tendon harus diperhitungkan dalam desain, dan dispesifikasikan seperti yang disyaratkan oleh 26.10.	**R25.9.1.5** Tahapan penegangan oleh peralatan angkur sangat mempengaruhi tegangan daerah umum. Dengan demikian, sangat penting untuk memperhatikan tidak hanya tahapan akhir pada tahapan penegangan setelah semua tendon ditarik, tetapi pada tahapan menengah saat konstruksi. Gaya pencar (*bursting)* yang paling kritis akibat masing-masing kombinasi penarikan tendon maupun seluruh kelompok tendon harus diperhitungkan.
25.9.2 *Kekuatan perlu*	**R25.9.2** *Kekuatan perlu*
25.9.2.1 Gaya prategang terfaktor pada perangkat angkur $\boldsymbol{P_{pu}}$ harus mencapai nilai terkecil dari a) hingga c), dimana 1,2 adalah faktor beban dari 5.3.12: a) $\mathbf{1,2(0,94}\boldsymbol{f_{py}}\mathbf{)}\boldsymbol{A_{ps}}$ b) $\mathbf{1,2(0,80}\boldsymbol{f_{pu}}\mathbf{)}\boldsymbol{A_{ps}}$ c) Beban *jacking* maksimum dari spesifikasi pabrik perangkat angkur dikalikan 1,2	**R25.9.2.1** Gaya prategang terfaktor adalah hasil kali faktor beban dan gaya prategang maksimum yang diizinkan. Tegangan izin tarik maksimum pada saat *jacking* tertuang dalam 20.3.2.5.1.

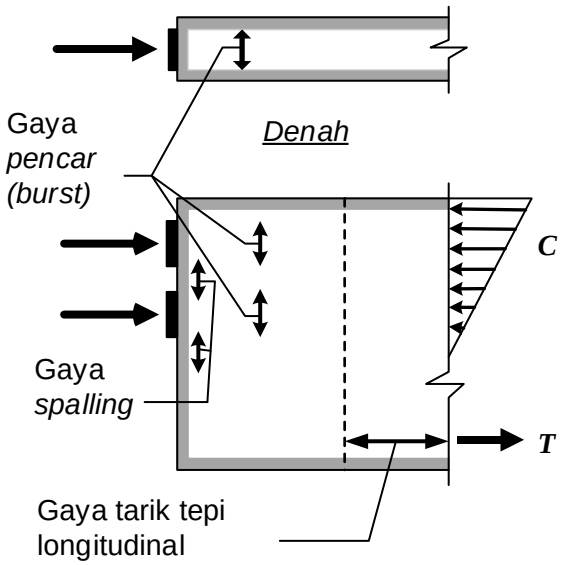
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
25.9.3 *Daerah local*	**R25.9.3** *Daerah lokal* – Daerah lokal menahan tegangan tinggi lokal yang diakibatkan perangkat angkur, dan menyalurkannya ke bagian lain dari daerah angkur. Perilaku daerah lokal sangat tergantung sifat-sifat khusus perangkat angkur dan penulangan kekangannya, dan tidak terlalu dipengaruhi geometri penampang dan pembebanan dari struktur keseluruhan. Desain daerah lokal kadang-kadang tidak dapat diselesaikan sampai penentuan angkur yang akan digunakan telah ditetapkan. Bila digunakan angkur khusus, produsen harus menyiapkan hasil uji yang membuktikan bahwa perangkat tersebut memenuhi standar AASTHO LRFD *Bridge Design Specification* (LRFDCONS) artikel 10.3.2.3. Pertimbangan utama dalam desain daerah lokal adalah pengaruh tegangan tumpu (*bearing*) yang tinggi dan kecukupan tulangan pengekang yang ada untuk meningkatkan kapasitas beton yang menahan tegangan tumpu di daerah tersebut.
25.9.3.1 Desain daerah lokal untuk angkur pascatarik harus memenuhi a), b) atau c): a) Perangkat angkur untuk *monostrand* atau batang tunggal diameter 16 mm atau yang lebih kecil harus memenuhi kekuatan tumpu dan persyaratan daerah lokal dari ACI 423.7 b) Perangkat angkur *multistrand* harus memenuhi persyaratan kekuatan tumpu sesuai AASTHO LRFD *Bridge Design Specification* artikel 5.10.9.7.2, kecuali faktor beban ditentukan berdasarkan 5.3.12 dan ϕ ditentukan dari 21.2.1 c) Perangkat angkur khusus harus memenuhi uji yang ditetapkan dalam AASTHO LRFD *Bridge Design Specification* artikel 5.10.9.7.3, dan ditetapkan AASTHO LRFD *Bridge Construction Specification*, artikel 10.3.2.3	
25.9.3.2. Bila digunakan angkur khusus, tambahan tulangan samping harus disediakan sebagai tambahan tulangan pengekang yang disyaratkan untuk perangkat angkur tersebut.	
25.9.3.2.1 Tulangan samping tambahan harus sama konfigurasinya dan paling sedikit rasio volumetriknya sebanding dengan tulangan samping tambahan yang digunakan ketika uji penerimaan kualitas perangkat angkur.	**R25.9.3.2.1** Tulangan samping dipasang di daerah angkur, pada lapisan terluar penampang untuk membatasi lebar retak dan spasi retak. Penulangan di daerah umumuntuk aksi lain (seperti susut dan suhu) dapat digunakan sebagai tambahan persyaratan penulangan samping. Penentuan tambahan tulangan samping tergantung pada perangkat angkur yang digunakan dan umumnya belum dapat ditentukan sampai perangkat angkur yang spesifik dipilih.
25.9.4 *Daerah umum*	**R25.9.4** *Daerah umum* – Dalam daerah umum, asusmsi dasar teori bahwa penampang adalah tetap datar tidak berlaku. Tegangan tarik yang dapat disebabkan perangkat angkur tendon, termasuk pencaran (*bursting)*, pengelupasan (*spalling)*, dan tegangan tarik tepi seperti tampak dalam Gambar R25.9.4 harus diperhitungkan dalam desain.

© BSN 2019

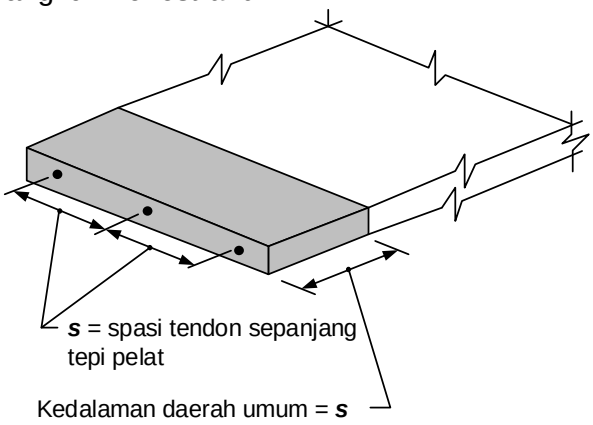
"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Tegangan tekan tepat di depan daerah lokal harus diperiksa (Gambar R25.9.1.1b)



Gambar R25.9.4 – Daerah tegangan tarik dalam daerah umum

25.9.4.1 Ukuran daerah umum adalah sama dengan dimensi terbesar penampang. Untuk pelat dengan angkur atau grup angkur yang terpasang sepanjang tepi pelat, ketebalan daerah umum harus diambil sebagai spasi tendon tersebut.	**R25.9.4.1** Kedalaman daerah umum pada pelat ditentukan dalam *AASTHO LRFD Bridge Design Specification* (LRFDUS) artikel 5.10.9 sebagai spasi tendon (Gbr R25.9.4.1). Mengacu 25.9.4.4.6 untuk angkur *monostrand.*



Gambar R25.9.4.1 – Dimensi daerah umum pada pelat pascatarik

25.9.4.2 Untuk angkur yang terletak jauh dari ujung komponen struktur, bagian daerah umum harus termasuk daerah terganggu (*disturb region*) di depan dan di belakang angkur tersebut.	**R25.9.4.2** Ukuran daerah umum untuk angkur yang terletak jauh dari ujung komponen struktur didefinisikan dalam Gambar R25.9.1.1b.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

25.9.4.3 *Analisis daerah umum*

25.9.4.3.1 Metode a) hingga c) dapat digunakan untuk desain daerah umum:

a) Model *strut-and-tie* berdasarkan pasal 23
b) Analisis tegangan linier termasuk analisis elemen hingga atau metode setara
c) Rumusan penyederhanaan menurut AASTHO LRFD Bridge Design Specification artikel 5.10.9.6, kecuali bila dibatasi oleh 25.9.4.3.2

Desain daerah umum menggunakan metode lain diizinkan dengan catatan bahwa tahapan desain dalam penentuan kekuatan sesuai dengan hasil uji yang komprehensif.

PENJELASAN

R25.9.4.3 Analisis *daerah umum*

R25.9.4.3.1 Metode desain termasuk prosedur-prosedur tersebut dengan pedoman yang telah diberikan oleh AASTHO LRFDUS dan Breen et al. (1994). Prosedur-prosedur ini menunjukkan prediksi kekuatan yang konservatif bila dibandingkan dengan hasil percobaan (Breen at al. 1994). Penggunaan model *strut-and-tie* sangat bermanfaat untuk desain daerah umum.

Dalam banyak aplikasi angkur dimana terdapat banyak atau daerah beton yang masif disekitar angkur, persamaan yang disederhanakan menggunakan AASTHO LRFDUS dan Breen et al. (1994) dapat digunakan kecuali pada kasus 25.9.4.3.2.

Nilai besaran gaya *bursting* T_{burst} dan jarak pusat ke permukaan tumpu angkur d_{burst} dapat dihitung dengan Pers. (R25.9.4.3.1a) dan (R25.9.4.3.1b). Notasi yang digunakan dalam persamaan ini ditunjukkan dalam Gambar R 25.9.4.3.1 untuk gaya prategang dengan eksentrisitas kecil. Aplikasi persamaan-persamaan ini, urutan penarikan tendon harus dipertimbangkan bila terdapat lebih dari satu tendon.

$$T_{burst} = 0,25 \sum P_{pu} \left(1 - \frac{h_{anc}}{h} \right) \quad \text{(R25.9.4.3.1a)}$$

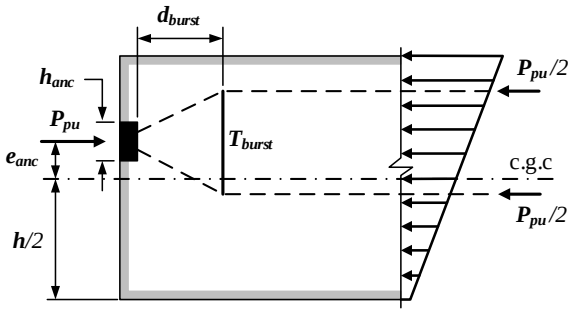
$$d_{burst} = 0,5 \left(h - 2e_{anc} \right) \quad \text{(R25.9.4.3.1b)}$$

Dimana $\sum P_{pu}$ adalah jumlah gaya tendon terfaktor P_{pu} dari gaya tendon indiviual. h_{anc} adalah kedalaman perangkat angkur, atau satu grup tendon yang berspasi rapat pada arah yang ditinjau; e_{anc} adalah eksentristas (selalu bertanda positif) dari angkur atau kelompok angkur terhadap titik berat penampang (Gambar R25.9.4.3.1).

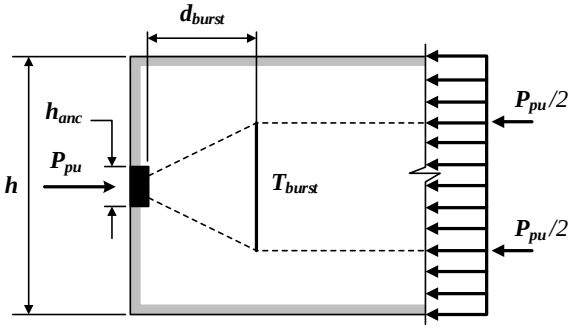
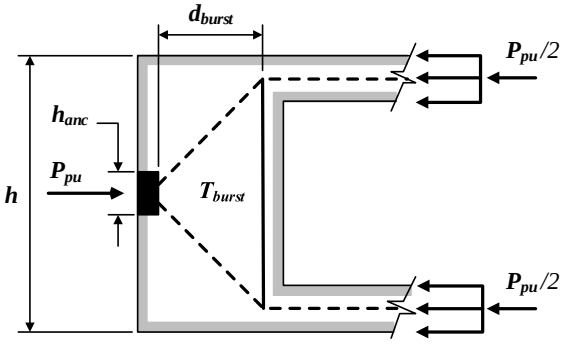
Perangkat-perangkat angkur sebaiknya dianggap berspasi rapat apabila spasi sumbu ke sumbunya antara angkur lebih kecil dari 1,5 kali lebar perangkat angkur dalam arah yang ditinjau.

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	 **Gambar R25.9.4.3.1 – Notasi yang digunakan dalam daerah umum**
25.9.4.3.2 Persamaan-persamaan yang disederhanakan tercantum dalam 25.9.3.1c) tidak boleh digunakan untuk desain daerah umum bila terdapat keadaan a) hingga g): a) Penampang yang bukan persegi b) Memiliki diskontinuitas pada atau di dekat daerah umum yang dapat mengganggu lintasan aliran gaya c) Jarak ke tepi minimum yang lebih kecil dari 1,5 kali dimensi lateral angkur di arah tersebut. d) Digunakan angkur lebih dari satu yang tidak dirapatkan dalam satu grup e) Pusat masa tendon terletak di luar daerah *kern* f) Sudut kemiringan angkur di daerah umum lebih kecil dari -5 derajat dari garis pusat melalui sumbu komponen struktur. Sudut negatif berarti arah gaya angkur menjauh dari pusat berat penampang g) Sudut kemiringan angkur di daerah umum lebih besar dari +20 derajat dari garis pusat sumbu komponen struktur. Sudut positif berarti arah gaya angkur menuju dari pusat berat penampang	**R25.9.4.3.2** Persamaan sederhana dalam AASTHO LRFDUS tak bisa digunakan untuk kasus yang tercantum dalam daftar 25.9.4.3.2. Bila ini yang terjadi, analisis yang lebih rinci harus dilakukan. Sebagai tambahan, prategang pascatarik pada penampang tipis, penampang dengan sayap, penampang tidak beraturan atau bila tendon mengalami pelengkungan dalam daerah umum desain di dasarkan pada AASTHO LRFDUS artikel 5.10.9.4 dan 5.10.9.5. Rekomendasi detail untuk prinsip-prinsip desain yang berlaku untuk semua jenis metode terdapat dalam artikel 5.10.9.3.2 AASTHO LRFDUS. Perangkat angkur untuk kelompok tendon *monostrand* dengan *monostrand* individual sering dijumpai di balok. Bila balok memiliki satu angkur atau sekelompok angkur yang dipasang dengan spasi rapat, persamaan sederhana yang diberikan dalam R25.9.4.3.1 dapat digunakan, kecuali terjadi kasus dalam 25.9.4.3.2. Untuk kasus yang lebiih rumit dapat didesain menggunakan metode *strut-and-tie*. Penjelasan rincinya terdapat dalam AASTHO LRFDUS dan Breen et al. (1994).
25.9.4.3.3 Pengaruh tiga dimensi diperhitungkan dalam desain dan analisis dengan a) atau b): a) Analisis tiga dimensi b) Pendekatan dengan menjumlahkan pengaruh dari dua bidang ortogonal	**R25.9.4.3.3** Adanya ketentuan untuk analisis tiga dimensi adalah untuk menjamin pengaruh gaya tegak lurus ke bidang utama komponen struktur seperti gaya pencar (*bursting)* dalam penampang tipis, atau pelat perlu diperhitungkan. Dalam kebanyakan kasus, pengaruh ini dapat dianalisis secara terpisah untuk setiap arah beban, tapi kadangkala analisis 3D penuh diperlukan (contoh, diafragma untuk angkur tendon eksternal).

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

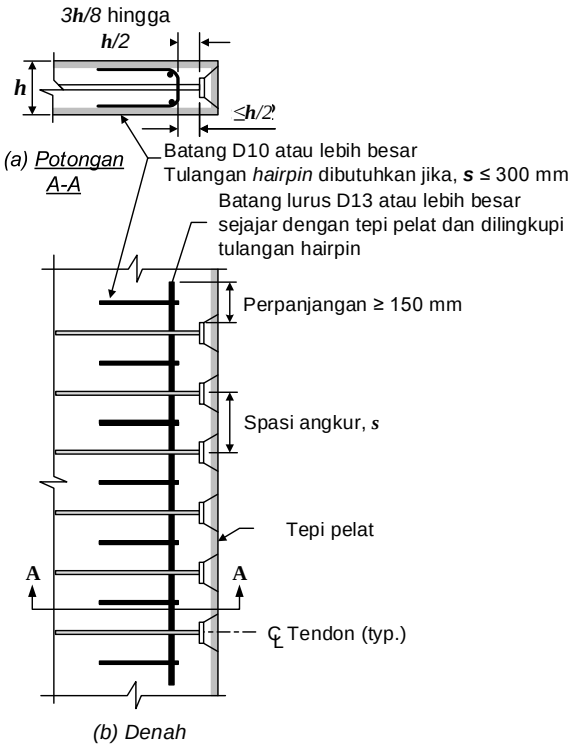
STANDAR	PENJELASAN
25.9.4.4 *Batasan penulangan*	**R25.9.4.4** *Batasan penulangan*
25.9.4.4.1 Kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan kebutuhan tulangan.	
25.9.4.4.2. Penulangan harus disediakan untuk menahan gaya pencar (*bursting)*, pengelupasan (*spalling*), dan gaya tarik tepi longitudinal akibat perangkat angkur. Pengaruh perubahan bentuk penampang yang mendadak dan tahapan pelaksanaan penarkan tendon harus diperhitungkan.	**R25.9.4.4.2.** Dalam beberapa kasus, persyaratan penulangan tidak dapat ditentukan sebelum detail layout tendon dan angkur diketahui. Dengan demikian tanggung jawab desain dan persetujuan harus jelas dan tercatat dalam dokumen konstruksi. Adanya perubahan mendadak di penampang dapat menyebabkan penyimpangan yang cukup berarti pada lintasan gaya. Penyimpangan ini dapat meningkatkan gaya tarik yang besar seperti ditunjukkan dalam Gambar R25.9.4.4.2.
	 *(a) Potongan Penampang Persegi Panjang* $T_{burst} \approx 0{,}25\ P_{pu}$
	 *(b) Potongan bagian sayap dan diafragma ujung* $T_{burst} \approx 0{,}50\ P_{pu}$
	Gambar R25.9.4.4.2 – Pengaruh perubahan bentuk penampang balok
25.9.4.4.3 Untuk angkur yang ditempatkan jauh dari ujung komponen struktur, Tulangan dengan lekatan harus disediakan untuk mentransfer setidaknya $\mathbf{0{,}35}P_{pu}$ ke dalam beton dibelakang	**R25.9.4.4.3.** Bila angkur tidak di tempatkan di ujung komponen struktur, tegangan tarik local terjadi di belakang angkur (Gambar R25.9.1.1b) akibat kompatibiltas deformasi antara bagian di

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
angkur. Penulangan ini harus ditempatkan secara simetris mengelilingi angkur, serta dapat menyalurkan tegangan secara penuh baik di depan maupun di belakang angkur.	depan dan di belakang angkur. Tulangan pengikat nonprategang sejajar tendon harus dipasang di daerah angkur untuk membatasi penyebaran retak di belakang angkur. Persyaratan **0,35**P_{pu} dikembangkan dengan memakai 25% gaya prategang tidak terfaktor yang harus dipikul oleh tulangan pada tegangan **0,6**f_y menggunakan factor beban sebesar 1,2. sehingga, kekeuatan leleh penuh tulangan f_y harus digunakan dalam perhitungan kapastitas yang diberikan.
25.9.4.4.4 Bila tendon melengkung di daerah umum, tulangan dengan lekatan harus disediakan untuk mengantisipasi gaya radial dan gaya belah, kecuali untuk pelat tendon *monostrand*, atau bila analisis menunjukkan penulangan tersebut tidak diperlukan.	
25.9.4.4.5 Penulangan dengan kapasitas tarik setidaknya 2% dari gaya prategang terfaktor harus dipasang tegak lurus terhadap arah sejajar bidang pembebanan angkur untuk mencegah pengelupasan beton. Kecuali untuk pelat tendon *monostrand*, atau bila analisis menunjukkan penulangan tersebut tidak diperlukan.	**R25.9.4.4.5.** Gaya *spalling* untuk tendon-tendon dengan titik berat berada dalam kern penampang diperkirakan sebesar 2% dari gaya prategang terfaktor. Asumsi ini tidak berlaku untuk perangkat multi angkur dengan spasi pusat ke pusat angkur lebih besar dari 0,4 kali tinggi penampang.
25.9.4.4.6 Pada angkur *monostrand* dengan diameter str*and* 12.7 mm atau yang lebih kecil dalam pelat beton normal, penulangan yang memenuhi a) dan b) harus disediakan di daerah umum kecuali analisis yang lebih detail berdasarkan 25.9.4.3 menunjukkan penulangan tersebut ini tidak diperlukan: a) Dua batang tulangan horizontal sedikitnya berdiameter 13 mm (D13) harus dipasang sejajar terhadap sisi pelat. Tulangan ini diperkenankan menempel pada sisi permukaan angkur dan harus berada dalam jarak sejauh ***h*/2** di depan masing-masing perangkat angkur. Penulangan ini harus ditperpanjang sedikitnya 150 mm dari masing-masing sisi dari setiap perangkat angkur b) Bila spasi sumbu ke sumbu perangkat angkur berjarak 300 mm atau kurang,	**R25.9.4.4.6** Untuk pelat dengan tendon *monostrand* penentuan penulangan minimum di daerah umum ditentukan berdasarkan ACI 423.3R, yang diperoleh dari Breen et al. (1994). Contoh detail terlihat dalam gambar R25.9.4.4.6. Batang-batang horizontal sejajar penampang tepi seperti disyaratkan dalam 25.9.4.4.6(a) harus menerus. Uji-uji yang menjadi dasar rekomendasi Breen et al. (1994) dibatasi dengan perangkat angkur diameter 12,7 mm, tendon tanpa lekatan, strand 1860 MPa dan beton normal. Jadi untuk angkur berukuran lebih besar, beton ringan, maka Komite ACI 423 menyarankan agar spasi dan jumlah penulangan harus disesuaikan secara konservatif agar diperoleh gaya angkur lebih besar, dengan kekuatan tarik belah yang lebih kecil pada beton ringan. ACI 423.3R, dan Breen et al. (1994) merekomendasikan penggunaan tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
maka perangkat angkur tersebut harus ditinjau sebagai sebuah kelompok. Untuk setiap kelompok yang terdiri dari 6 atau lebih perangkat angkur, sebanyak ***n*** **+ 1** tulangan *hairpin* atau sengkang tertutup dengan tulangan diameter minimal 10 mm (D10) harus dipasang, dimana ***n*** adalah jumlah angkur terpasang. Satu buah tulangan *hairpin* atau sengkang harus dipasang di antara masing-masing perangkat ankur dan satu buah dipasang pada masing-masing sisi kelompok angkur. Tulangan *hairpin* atau sengkang harus ditempatkan dengan kaki-kakinya memanjang ke arah pelat dan tegak lurus terhadap tepi pelat. Bagian tengah tulangan hairpin dipasang tegak lurus bidang pelat dari **3*h*/8** hingga ***h*/2** di depan perangkat angkur.	*hairpin* untuk daerah pengangkuran yang berada dalam rentang 300 mm dari sudut-sudut pelat untuk menahan gaya tarik tepi. Kata “di depan” dalam 25.9.4.4.6 mempunyai makna seperti yang ditunjukkan dalam Gambar R25.9.1.1b. Untuk kasus-kasus dimana perangkat angkur *multistrand* digunakan untuk tendon-tendon pelat, maka semua ketentuan 25.9.4 harus terpenuhi. Penulangan yang dipasang tegak lurus bidang pelat yang disyaratkan dalam 25.9.4.4.6(b) untuk tendon yang berspasi rapat harus juga diberikan dalam kasus tendon-tendo yang berspasi lebar.
c)	



Gambar R25.9.4.4.6 – Penulangan daerah angkur untuk kelompok angkur tendon diameter 12,7 mm atau lebih kecil di pelat

25.9.4.5 *Batasan tegangan di daerah umum*	**R25.9.4.5** *Batasan tegangan di daerah umum*

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
25.9.4.5.1 Tegangan tarik desain maksimum tulangan pada kekuatan nominal tak boleh melebihi Tabel 25.9.4.5.1.	**R25.9.4.5.1** Nilai kekuatan tarik nominal tendon pratengang terlekat dibatasi sebesar kekuatan leleh baja pratengang karena Pers. (20.3.2.3.1) tidak berlaku untuk kondisi selain perilaku lentur. Nilai untuk tulangan prategang tanpa lekatan didasarkan 20.3.2.4.1, tetapi dibatasi untuk pemakaian nonlentur yang pendek ini.

Tabel 25.9.4.5.1 – Tegangan tarik desain maksimum di tulangan

Jenis tulangan	Tegangan tarik desain maksimum
Tulangan nonprategang	f_y
Tulangan prategang terlekat	f_{py}
Tulangan prategang tanpa lekatan	f_{se} + 70

25.9.4.5.2 Tegangan tekan beton nominal tak boleh melampaui **0,7λf_{ci}'**, dengan λ didefinisikan dalam 19.2.4.	**R25.9.4.5.2** Deformasi inelastik beton dapat terjadi dalam daerah umum karena daerah angkur direncanakan berdasarkan pada pendekatan kekuatan. Penggunaan koefisien λ untuk beton ringan menurunkan kekuatan tarik beton, yang secara tak langsung membatasi tegangan tekan, demikian juga penyebaran yang lebar serta kegetasan dipelihatkan pada daerah pengangkuran beton ringan.
25.9.4.5.3 Bila beton terkekang oleh sengkang pengekang atau sengkang spiral dan efek pengekangan tulangan direkam oleh pengujian dan analisis. Peningkatan kekuatan tekan akibat kekangan diperkenankan digunakan dalam perhitungan kekuatan nominal daerah umum.	**R25.9.4.5.3** Bila kekangan beton dinilai efektif, kekuatan tekan beton bisa ditingkatkan (Breen et al. 1994). Hasil penelitian Breen et al. (1994) membuktikan bahwa tegangan tekan yang dihasilkan prategang tambahan yang diaplikasikan tegak lurus terhadap sumbu tendon utama dapat secera efektif meningkatkan kekuatan beton di daerah angkur.
25.9.4.5.4 Tulangan prategang tidak boleh ditegangkan sebelum hasil uji silinder beton yang dirawat sesuai dengan komponen strukturnya mencapai minimum 17 MPa untuk batang dan *strand* tunggal, dan minimum 28 MPa untuk tendon *multistrand*, kecuali bila telah memenuhi 25.9.4.5.5.	**R25.9.4.5.4** Untuk membatasi retak susut awal, tendon *monostrand* ditegangkan pada tegangan tidak kurang dari 17 MPa. Dalam kasus seperti ini, baik digunakan angkur *monostrand* yang ukurannya lebih besar maupun penarikan tendon dilakukan secara bertahap, seringkali dilakukan pada tingkat 1/3 atau 1/2 dari gaya prategang seperti yang diizinkan oleh 25.9.4.5.5.
25.9.4.5.5 Peraturan 25.9.4.5.4 tidak perlu diikuti bila a) atau b) terpenuhi:	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
a) Digunakan angkur yang ukurannya lebih besar untuk mengkompensasi kekuatan tekan beton yang lebih rendah b) Tulangan prategang ditarik tidak lebih dari 50% dari gaya pratengang akhir	
25.9.5 *Detail penulangan*	
25.9.5.1 Penentuan ukuran tulangan, spasi tulangan, selimut beton dan detail lain untuk daerah angkur harus memperhatikan toleransi pada saat fabrikasi dan pemasangan tulangan; ukuran agregat dan aspek pemadatan beton waktu pengecoran.	

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR **PENJELASAN**

PASAL 26 – DOKUMEN KONSTRUKSI DAN INSPEKSI

26.1 - Ruang lingkup

R26.1 - Ruang lingkup

Pasal ini menetapkan persyaratan minimum untuk informasi yang harus disertakan dalam dokumen konstruksi yang digunakan dalam proyek. Persyaratan ini meliputi informasi dalam desain struktur yang akan disampaikan ke kontraktor, pengawasan terhadap kualitas pekerjaan kontraktor, dan pengadaan inspeksi untuk mengecek apakah pekerjaan kontraktor sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam dokumen konstruksi. Dalam ACI 318 edisi 2011, ketentuan-ketentuan ini terdapat dalam keseluruhan dokumen. Mulai ACI 318 edisi 2014, semua ketentuan mengenai pekerjaan konstruksi telah dikumpulkan dalam pasal ini untuk digunakan perencana ahli bersertifikat, kecuali perihal pada Pasal 17. Ketentuan mengenai konstruksi dan inspeksi terkait angkur terdapat dalam Pasal 17 dan dijelaskan secara spesifik pada 26.7 dan 26.13.

Pasal ini ditujukan untuk perencana ahli bersertifikat yang bertanggung jawab dalam memasukkan persyaratan proyek dalam dokumen konstruksi. Persyaratan desain dan konstruksi harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi agar mempermudah kontraktor dalam memenuhi persyaratan dalam standar ini. Kontraktor tidak dimaksudkan untuk dapat membaca dan menginterpretasikan standar yang dipakai.

Rujukan umum dalam dokumen konstruksi untuk standar ini harus dihindari karena kontraktor tidak bertanggung jawab dalam detail desain atau persyaratan konstruksi yang terkait dengan pemahaman mendalam terhadap desain. Rujukan spesifik terhadap ketentuan standar juga harus dihindari karena tujuan penggunaan standar adalah agar ketentuan yang dipakai dapat dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Sebagai contoh, rujukan untuk ketentuan spesifik dalam Pasal 26 diganti dengan rujukan yang sesuai dengan dokumen konstruksi proyek. Rujukan ACI dan standar ASTM juga dapat dipakai.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR

PENJELASAN

Pasal ini meliputi ketentuan-ketentuan untuk beberapa informasi yang harus ada dalam dokumen konstruksi. Pasal ini tidak ditujukan sebagai daftar serba inklusif; butir tambahan dapat diterapkan dalam proyek atau disyaratkan oleh perencana ahli bersertifikat. ACI 301 adalah rujukan spesifikasi konstruksi yang konsisten terhadap persyaratan standar ini.

Dalam situasi tertentu, seperti pada material pracetak atau struktur pascatarik, dimana desain dan pekerjaan pendetailan didelegasikan kepada perencana spesialis atau kontraktor yang mempunyai keahlian khusus. Perencana spesialis yang dimaksud adalah perencana ahli bersertifikat yang mempunyai keahlian khusus dalam desain dan konstruksi komponen struktur yang didelegasikan.

Daftar isi ini untuk Pasal 26:

Pasal	Cakupan
26.1	Lingkup
26.2	Kriteria desain
26.3	Informasi komponen
26.4	Material beton dan persyaratan campuran
26.5	Produksi beton dan konstruksi
26.6	Material tulangan dan persyaratan konstruksi
26.7	Angkur beton
26.8	Penanaman
26.9	Persyaratan tambahan untuk beton pracetak
26.10	Persyaratan tambahan untuk beton prategang
26.11	Bekisting
26.12	Evaluasi beton dan penerimaan beton
26.13	Inspeksi

26.1.1 Pasal ini menjelaskan a) hingga c):

R26.1.1 Pasal 17, *Pengangkuran ke beton*, juga terdapat informasi desain, persyaratan penerimaan, dan persyaratan inspeksi untuk angkur beton.

a) Informasi desain yang dinyatakan secara spesifik oleh perencana ahli bersertifikat dalam dokumen konstruksi, jika diterapkan dalam proyek.
b) Persyaratan penerimaan dinyatakan secara spesifik oleh perencana ahli bersertifikat dalam dokumen konstruksi, jika dapat diterapkan dalam proyek.

R26.1.1 a) dan **b)** Kecuali untuk persyaratan inspeksi dalam 26.13, ketentuan-ketentuan dalam pasal ini diatur berdasarkan informasi desain dan persyaratan penerimaan.

Informasi desain dalam pasal ini adalah bersifat spesifik pada proyek tertentu dan dikembangkan dalam tahap desain. Hal ini

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	menggambarkan basis desain atau memberikan informasi terkait pekerjaan konstruksi. Hanya informasi desain yang dapat diterapkan pada pekerjaan tersebut yang perlu disediakan. Persyaratan penerimaan adalah ketentuan-ketentuan umum yang menetapkan kualitas minimum pekerjaan konstruksi. Standar tidak ditujukan agar perencana ahli bersertifikat tidak menyertakan seluruh persyaratan penerimaan dalam dokumen konstruksi. Beberapa persyaratan mungkin tidak dapat diterapkan dalam proyek. Dokumen konstruksi yang menyertakan persyaratan penerimaan minimum dalam pasal ini dianggap sesuai dengan standar ini, bahkan meskipun persyaratan dinyatakan secara berbeda, melebihi persyaratan minimum, atau terdapat persyaratan yang lebih detail.
c) Persyaratan inspeksi dinyatakan secara spesifik oleh perencana ahli bersertifikat dalam dokumen konstruksi, jika dapat diterapkan dalam proyek.	**R26.1.1 c)** Pasal 26.13 menjelaskan ketentuan-ketentuan inspeksi yang digunakan apabila tidak terdapat standar umum inspeksi bangunan. Persyaratan inspeksi ini ditujukan untuk memberikan verifikasi bahwa pekerjaan tersebut telah sesuai seperti yang tercantum dalam dokumen konstruksi. Persyaratan inspeksi dari hukum yang berlaku maupun peraturan umum bangunan bersifat lebih kuat dibandingkan persyaratan yang tercantum dalam pasal ini. Mengacu pada 26.13.1. ACI 311.4R memberikan petunjuk untuk inspeksi konstruksi beton, dan ACI 311.6 adalah rujukan spesifikasi untuk pengujian beton *ready-mix*.
26.2 - Kriteria desain **26.2.1** Informasi desain:	**R26.2 - Kriteria desain**
a) Nama dan tahun terbit standar, standar umum bangunan, serta aturan desain yang ada. b) Beban yang digunakan dalam desain.	**R26.2.1 a) dan b)** Rujukan dokumen yang dapat diterapkan yang mengatur desain termasuk informasi beban, seperti beban gravitasi dan lateral, harus disertakan dalam dokumen konstruksi.
c) Pekerjaan desain yang diserahkan kepada kontraktor termasuk kriteria desain yang dapat diterapkan.	**R26.2.1 c)** Perencana ahli bersertifikat sering kali mendelegasikan beberapa bagian desain struktur ke perencana spesialis. Perencana ahli bersertifikat harus memberikan informasi yang cukup agar desain struktur tersebut konsisten

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dengan keseluruhan sistem struktur. Informasi ini mengandung beban desain yang mempengaruhi pekerjaan desain yang di delegasikan. Sebagai contohnya, kriteria desain gempa untuk beton pracetak dengan sambungan *fascia* panel agar sesuai dengan keseluruhan sistem struktur.
26.3 - Informasi komponen struktur **26.3.1** Informasi desain:	**R26.3 - Informasi komponen struktur**
a) Ukuran, lokasi, toleransi komponen.	**R26.3.1 a)** Toleransi konstruksi untuk ukuran dan lokasi batang dapat dicantumkan dalam dokumen konstruksi dengan mengacu pada ACI 117 untuk konstruksi dengan kondisi cor di tempat, atau ACI ITG-7 untuk konstruksi pracetak. Toleransi lebih ketat untuk proyek tertentu atau toleransi yang tidak dibahas dalam rujukan tersebut juga harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi.
26.4 - Persyaratan material dan pencampuran beton **26.4.1** *Material beton*	**R26.4 – Persyaratan material dan pencampuran beton**
26.4.1.1 *Material sementisius*	
26.4.1.1.1 Persyaratan penerimaan:	
a) Material sementisius harus memenuhi spesifikasi yang tercantum di dalam Tabel 26.4.1.1.1(a).	

Tabel 26.4.1.1.1(a) – Spesifikasi untuk material sementisius

Material sementisius	Spesifikasi
Semen Portland	ASTM C150M atau SNI 2049:2015
Semen hidrolik campuran	ASTM C595M, tidak termasuk Tipe IS (≥ 70) dan Tipe IT (*S* ≥ 70) atau SNI 7064:2014 atau SNI 0302:2014 atau SNI 8363:2017
Semen hidrolik ekspansif	ASTM C845M
Semen hidrolik	ASTM C1157M
Abu terbang *(fly ash)* dan material pozzolan alami	ASTM C618 atau SNI 2460:2014
Semen slag (*slag*)	ASTM C989M atau SNI 6385:2016

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN

Abu silika (silika *fume*)	ASTM C1240

b) Semua material sementisius yang tercantum di dalam Tabel 26.4.1.1.1(a) serta kombinasi materialnya harus disertakan dalam menghitung parameter ***w/cm*** pada campuran beton.

26.4.1.2 *Agregat*

26.4.1.2.1 Syarat penerimaan:

a) Agregat harus sesuai memenuhi ketentuan 1) atau 2):
   1) Agregat berat normal: ASTM C33M.
   2) Agregat berat ringan: ASTM C330M.

b) Agregat yang tidak memenuhi ketentuan ASTM C33M atau ASTM C330M dapat digunakan apabila hasil pengujian menunjukkan bahwa beton yang di produksi memiliki kekuatan dan durabilitas yang memadai dan disetujui oleh pihak yang berwenang.

26.4.1.3 *Air*

26.4.1.3.1 Persyaratan penerimaan

a) Air untuk campuran harus memenuhi ketentuan ASTM C1602M.
b) Air untuk campuran, termasuk bagian air yang nantinya akan menyebabkan agregat menjadi lembab, tidak boleh mengandung ion klorida dalam kadar yang dapat merusak ketika digunakan untuk membuat beton prategang, untuk beton yang melekat dengan alumunium, atau beton yang dicor terhadap bekisting tetap dari bahan baja galvanis.

R26.4.1.2 *Agregat*

R26.4.1.2.1 b) Agregat yang memenuhi ketentuan spesifikasi ASTM tidak selalu tersedia, dalam beberapa kasus, material yang tidak memenuhi ketentuan ASTM C33M atau C330M mungkin saja memiliki kekuatan dan daya tahan yang cukup. Untuk material dengan kondisi seperti ini diperbolehkan pemakaiannya apabila ada bukti yang mendukung. Namun secara umum, agregat yang sesuai dengan spesifikasi lebih di prioritaskan untuk dipakai.

R26.4.1.3 *Air* - Hampir semua air alami yang dapat diminum dan tidak berasa atau bau dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat beton. Meskipun kelebihan air dalam proses pencampuran dapat mempengaruhi waktu proses, kekuatan beton, dan stabilitas volume, dan mungkin saja mengakibatkan perubahan warna pada beton dan korosi pada tulangan.

Garam dan kandungan merugikan lainnya bisa saja ditemukan dalam campuran air. Kandungan-kandungan seperti ini harus diperhitungkan dalam proses pembuatan beton.

R26.4.1.3.1a) ASTM C1602M mengizinkan penggunaan air minum untuk campuran tanpa diuji terlebih dahulu, termasuk metode untuk menentukan sumber air yang tidak dapat diminum, seperti dari hasil pengoperasian produksi beton, dengan pertimbangan waktu *setting*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dan kekuatan. Frekuensi pengujian harus ditetapkan untuk memastikan pengawasan secara berkala terhadap kualitas air. ASTM C1602M juga menjelaskan batas opsional untuk kandungan klorida, sulfat, alkali, dan zat padat untuk air pencampur yang dapat diubah jika diperbolehkan.
26.4.1.4 *Material campuran tambahan (Admixture*)	**R26.4.1.4** *Material campuran tambahan (Admixture*)
26.4.1.4.1 Syarat penerimaan:	
a) Material campuran tambahan harus memenuhi ketentuan 1) hingga 4): 1) Reduksi kadar air dan modifikasi waktu pengerasan ASTM C494M. 2) Menghasilkan beton yang dapat mengalir: ASTM C1017M. 3) Gelembung udara di dalam beton: ASTM C260M. 4) Mencegah korosi yang disebabkan oleh klorida: ASTM C1582M.	**R26.4.1.4.1 a)** ASTM C494M mencakup Tipe S - bahan tambahan agar beton mencapai kinerja tertentu - yang bisa dinyatakan secara spesifik apabila menghendaki karakteristik kinerja yang tidak disebutkan dalam 26.4.1.4(a), seperti bahan tambahan yang dapat merubah viskositas. Persyaratan utama untuk bahan tambahan Tipe S adalah bahan tambahan tidak memiliki efek yang merugikan pada karakteristik beton apabila diuji dengan ketentuan ASTM C494M. Namun, belum tentu bahan tambahan akan memenuhi kekuatan yang dimaksud meskipun bahan tambahan telah sesuai dengan konfigurasi Tipe S. Pabrikan yang memproduksi bahan tambahan harus memberikan data yang menyatakan bahan tambahan telah memenuhi persyaratan Tipe S.
b) Material campuran tambahan yang tidak sesuai dengan spesfikasi pada 26.4.1.4.1(a) harus ditinjau sebelumnya oleh perencana ahli bersertifikat.	
c) Kalsium klorida atau bahan tambahan yang mengandung klorida dari sumber selain ketidakmurnian material campuran tambahan tidak boleh digunakan pada beton prategang, pada beton yang melekat pada alumunium, maupun beton yang dicor terhadap bekisting tetap dari bahan baja galvanis.	**R26.4.1.4.1 c)** Kalsium klorida tidak boleh digunakan dalam beton prategang karena korosi pada tulangan prategang mempunyai efek yang lebih signifikan dibanding korosi pada tulangan nonprategang. Reduksi lokal pada tulangan prategang dapat berakibat fraktur pada baja. (ACI 222R). Klorida ion mungkin saja menyebabkan korosi pada alumunium yang tertanam seperti konduit, terutama jika alumunium mengalami kontak dengan baja yang tertanam dan beton berada dalam lingkungan lembab. Persyaratan perlindungan untuk alumunium dijelaskan dalam 26.8.2. Korosi yang terjadi pada baja galvanis lembaran dan baja galvanis permanen dapat terjadi, terutama dalam lingkungan lembab. Batas spesifik untuk konsentrasi ion klorida pada beton dijelaskan dalam 19.3.2.1.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
d) Material campuran tambahan yang mengandung semen ekspansif mengacu pada ASTM C845M harus sesuai dengan semen dan tidak memiliki efek merusak.	**R26.4.1.4.1 d)** Dalam beberapa kasus, penggunaan bahan tambahan dalam beton yang mengandung semen ekspansif ASTM C845M mengakibatkan menurunnya kadar ekspansi dan bertambahnya nilai susut. Mengacu pada ACI 223R.
26.4.1.5 *Tulangan serat* baja	**R26.4.1.5** *Tulangan serat* baja
26.4.1.5.1 Syarat penerimaan:	
Tulangan serat baja yang digunakan untuk menahan geser harus memenuhi ketentuan 1) dan 2): 1) Merupakan tulangan ulir dan memenuhi ASTM A820M. 2) Memiliki rasio panjang dan diameter minimal 50 dan kurang dari 100.	**R26.4.1.5.1 a)** Deformasi pada serat baja meningkatkan pengangkuran mekanis pada beton. Batas rasio panjang terhadap diameter serat ditentukan berdasarkan hasil data dari pengujian yang tersedia (Parra-Montesinos 2006). Karena data yang menyatakan potensi korosi oleh permasalahan galvanis belum tersedia, penggunaan tulangan serat baja dalam komponen struktur yang diperkuat dengan baja nirkarat *(stainless)* atau baja galvanis tidak disarankan.
26.4.2 *Persyaratan campuran beton*	**R26.4.2** *Persyaratan campuran beton*
26.4.2.1 Informasi desain	
a) Persyaratan 1) hingga 3) untuk tiap campuran beton berdasarkan kelas eksposur atau desain batang. 1) Kekuatan tekan minimum beton, f_c'. 2) Usia pengujian yang menyatakan telah memenuhi nilai f_c' jika usia beton kurang dari 28 hari. 3) Nilai maksimum w/cm yang dapat diterapkan pada kelas eksposur yang paling ketat sesuai 19.3.2.1.	**R26.4.2.1 a)** Persyaratan untuk setiap campuran beton yang digunakan dalam proyek harus dijelaskan dalam dokumen konstruksi. Ini diambil dari persyaratan desain beton pada 19.2 dan persyaratan durabilitas pada 19.3. Persyaratan yang paling ketat juga harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi.
4) Ukuran maksimum nominal agregat kasar tidak melebihi ketentuan i), ii), dan iii): i) seperlima dimensi terkecil dari kedua sisi bekisting ii) sepertiga tebal pelat iii) tiga per empat jarak bersih antar tulangan atau kawat, bundel tulangan (*bundle*), tulangan prategang, tendon, ikatan tendon Batasan ini tidak berlaku apabila ditemukan metode yang serupa oleh perencana ahli bersertifikat yang	**R26.4.2.1 a) 4)** Adanya ketentuan mengenai batas ukuran agregat agar saat proses pengecoran, tidak akan terdapat rongga akibat minimnya ruang mengalir untuk beton karena tulangan yang terlalu rapat. Karena ukuran maksimum agregat dapat mempengaruhi karakteristik beton seperti susut, serta biaya pembuatan beton, agregat dengan ukuran terbesar yang konsisten dengan 26.4.2.1 dapat digunakan. Peningkatan pada ukuran agregat akan berefek pada menurunnya

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
menyatakan beton dapat dicor dengan sempurna tanpa keropos atau rongga.	kadar susut jika ada reduksi yang serupa pada volume pasta.
6) Untuk batang dengan Paparan Kelas C, rujukan untuk batas ion klorida diambil dari 19.3.2.1.	
7) Untuk batang dengan Paparan Kategori S, rujukan untuk material sementisius diambil dari 19.3.2.1.	
8) Untuk batang dengan Paparan Kelas S2 atau S3, bahan tambahan yang mengandung kalsium klorida tidak boleh digunakan.	
9) Keseimbangan massa jenis beton ringan.	**R26.4.2.1 a) 9)** Keseimbangan massa jenis adalah hasil perhitungan massa jenis dari beton ringan dengan asumsi terjadi suatu tingkat kering setelah tahap awal konstruksi. Keseimbangan massa jenis beton ringan dijelaskan dalam ASTM C567M. Berdasarkan korelasi antara massa jenis beton segar dan keseimbangan massa jenis, beton ringan dapat diterima pada waktu pengiriman dengan basis massa jenis pada beton segar.
10) Persyaratan untuk pengumpulan fraksi volumetrik agregat pada beton ringan dalam campuran beton untuk verifikasi nilai λ, jika nilai λ digunakan dalam desain.	
11) Jika digunakan untuk tahanan geser sesuai 9.6.3.1, menggunakan persyaratan untuk beton bertulangan serat baja.	**R26.4.2.1 a) 11)** Jika serat baja digunakan untuk menahan geser, terdapat beberapa kebutuhan untuk beton bertulangan serat: 26.4.5.1(a) menjelaskan persyaratan serat; 26.4.2.2(d) menjelaskan persyaratan takaran minimum; dan 26.12.5.1(a) menjelaskan kriteria penerimaan. Tulangan serat umumnya dikategorikan berdasarkan jenis, panjang serat, rasio (ℓ/d), dan takaran (ACI 544.3R). Untuk penerapan dalam struktur, standar ini hanya membahas penggunaan serat baja diskontinu berulir untuk menahan gaya geser. Untuk struktur lain yang menggunakan serat baja diskontinu berulir, prosedur penerimaan terdapat dalam 1.10. Juga terdapat penggunaan serat baja diskontinu dalam beton untuk penggunaan nonstructural atau tujuan fungsional. Ketentuan dalam standar ini membahas mengenai penggunaan serat baja diskontinu berulir untuk kekuatan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	geser tidak ditujukan untuk penerapan pada nonstruktural.
b) Sebagai pilihan dari perencana ahli bersertifikat, kelas paparan dapat didasarkan pada tingkat keparahan paparan dari komponen yang ditinjau	**R26.4.2.1 b)** Persyaratan durabilitas untuk beton diberikan berdasarkan klasifikasi paparan pada komponen struktur yang dijelaskan dalam 19.3. Oleh karenanya, kelas paparan yang dapat diterapkan di komponen struktur menjadi dasar persyaratan untuk campuran beton. Pasal 19.3.1 mensyaratkan perencana ahli bersertifikat untuk menetapkan kelas paparan untuk komponen struktur yang berbeda dalam struktur bangunan. Campuran beton harus ditentukan yanh sesuai, meskipun sebenarnya standar ini tidak mewajibkan kelas paparan untuk dinyatakan secara eksplisit dalam dokumen konstruksi. Jika ada instruksi dari perencana ahli bersertifikat yang mewajibkan kontraktor menentukan properti beton dari ACI 301, maka kelas paparan yang ditetapkan perlu dinyatakan secara eksplisit dalam dokumen konstruksi.
c) Syarat kekuatan tekan spesifik pada fase konstruksi tertenti tertentu dalam tiap komponen struktur didesain oleh perencana ahli bersertifikat.	**R26.4.2.1 c)** Jika dalam tahap desain maupun konstruksi ada syarat yang menyatakan bahwa kekuatan beton cor di tempat harus mencapai kekuatan tertentu pada umur atau fase tertentu, persyaratan ini harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Hal ini umumnya terjadi saat fase pelepasan bekisting dan perancah. Selain itu, persyaratan kekuatan tekan spesifik harus dinyatakan secara spesifik untuk: 1) beton pascatarik cor di tempat untuk aplikasi pascatarik; 2) pelepasan bekisting pada beton pracetak saat penanganan, pengiriman, dan ereksi; dan 3) beton pracetak dan prategang saat transfer prategang, ketika pelepasan bekisting, dan saat penanganan, pengiriman, dan ereksi. Untuk bagian struktur yang tidak didesain oleh perencana ahli bersertifikat, rujukan menggunakan 26.4.2.2(a).
26.4.2.2 Syarat penerimaan:	
a) Syarat kekuatan tekan spesifik pada fase tertentu dalam tiap komponen struktur yang tidak didesain oleh	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

perencana ahli bersertifikat harus diajukan untuk ditinjau.

b) Prosentase maksimum pozzolan, termasuk *fly ash* dan silika *fume*, semen slag dalam beton harus sesuai dengan Tabel 26.4.2.2(b) dan 1) dan 2). Nilai pada Tabel 26.4.2.2(b) boleh dilewati jika dapat dibuktikan dari hasil pengujian bahwa beton yang dihasilkan memiliki kekuatan dan durabilitas yang memadai dan disetujui oleh pihak yang berwenang.
   1) Batas prosentase maksimum pada Tabel 26.4.2.2(b) harus mengikutsertakan *fly ash* atau material pozzolan lainnya, semen *slag*, dan silika fume yang digunakan dalam proses manufaktur campuran semen sesuai ASTM C595M dan C1157M.
   2) Batasan masing-masing material pada Tabel 26.4.2.2(b) harus dipenuhi terlepas dari jumlah material sementisius pada campuran beton

Tabel 26.4.2.2(b) – Batas material sementisius untuk campuran beton

Material sementisius	Prosentase maksimum total material sementisius berdasarkan massa
Fly ash atau material pozzolan yang sesuai ASTM C618 atau SNI 2460:2014	25
Semen slag yang sesuai ASTM C989M atau SNI 6385:2016	50
Silika fume yang sesuai ASTM C1240	10
Total *fly ash* atau material pozzolan lain dan silika fume	35
Total *fly ash* atau material pozzolan lain, semen *slag*, dan silika *fume*	50

c) Untuk beton yang terpapar sulfat, kombinasi alternatif material sementisius yang disebutkan pada 26.4.2.1(a)7) dapat digunakan apabila

PENJELASAN

R26.4.2.2 c) Persyaratan campuran untuk Kategori Paparan S dijelaskan dalam 19.3.2.1. ASTM C1012M mungkin digunakan untuk mengevaluasi daya tahan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

dilakukan pengujian dengan kriteria yang tertera pada Tabel 26.4.2.2(c).

Tabel 26.4.2.2(c) – Persyaratan untuk kombinasi material sementisius yang terpapar terhadap sulfat

Kelas paparan	Regangan ekspansi maksimum jika diuji menggunakan ASTM C1012M		
	Bulan ke-6	Bulan ke-12	Bulan ke-18
S1	0,10 persen	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan
S2	0,05 persen	0,10 persen[1]	Tidak ada persyaratan
S3	Tidak ada persyaratan	Tidak ada persyaratan	0,10 persen

[1] Batas ekspansi 12 bulan berlaku jika ekspansi yang diukur melebihi batas maksimum ekspansi 6 bulan.

d) Beton bertulangan dengan serat baja yang digunakan untuk menahan geser harus memenuhi ketentuan 1) dan 2):
   1) Sesuai ASTM C1116M.
   2) Mengandung setidaknya 60 kg serat baja ulir per kubik beton.

26.4.3 *Proporsi campuran beton*

26.4.3.1 Syarat penerimaan

Proporsi campuran beton harus ditetapkan sebelumnya agar beton memenuhi ketentuan 1) hingga 3):

1) Dapat dicor ke bekisting tanpa terjadi segregasi di sekitar tulangan.
2) Memenuhi persyaratan paparan yang ditetapkan sesuai dengan 26.4.2.1(a) atau 26.4.2.1(b).

PENJELASAN

campuran beton terhadap sulfat menggunakan kombinasi material semen alternatif yang terdapat dalam Tabel 19.3.2.1 untuk semua kelas paparan sulfat. Petunjuk yang lebih detail mengenai kualifikasi campuran menggunakan ASTM C1012M diberikan dalam ACI 201.2R. Kriteria ekspansi pada Tabel 26.4.2.2(c) untuk pengujian berdasarkan ASTM C1012M sama dengan yang tercantum dalam ASTM C595M untuk daya tahan terhadap sulfat dengan kadar normal pada Kelas Paparan S1, dan daya tahan terhadap sulfat dengan kadar tinggi pada Kelas paparan S2, sama dengan ASTM C1157M untuk Tipe MS dengan Kelas paparan S1 dan Tipe HS pada Kelas paparan S2.

R26.4.3 *Proporsi campuran beton*- ACI edisi 2014 tidak memuat persyaratan statistik untuk proporsi beton yang dijelaskan di dalam edisi sebelumnya. Informasi ini dihapus karena mengatur proporsi campuran beton bukan kewajiban perencana ahli bersertifikat. Selain itu, informasi ini tersedia dalam dokumen ACI yang lain seperti ACI 301 dan ACI 214R. Akhirnya, prosedur kontrol kualitas dari beberapa produsen beton dapat digunakan untuk penerimaan kriteria dari standar ini tanpa mengikuti proses yang terlibat dalam kode edisi sebelumnya.

R26.4.3.1 a) Bagian ini menjelaskan persyaratan proporsi campuran beton. Beton disyaratakna memeiliki kelecakan dan memenuhi persyaratan kekuatan dan durabilitas sesuai standar ini. Istilah “tanpa segregasi” artinya agregat terdistribusi secara merata ketika beton dalam keadaan baru dan segar. Meskipun pada akhirnya segregasi dalam bentuk *bleeding* akan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
3) Sesuai dengan persyaratan uji kekuatan untuk benda uji yang melalui perawatan standar.	terjadi. Persyaratan kelecakan (*workability*) dipengaruhi oleh kerapatan tulangan, geometri komponen struktur, dan metode pengecoran serta konsolidasi yang dipakai. Persyaratan konstruksi kontraktor harus mempertimbangkan persyaratan kelecakan beton. Standar ini tidak menjelaskan ketentuan untuk paparan ekstrim, seperti kontak dengan bahan kimia, suhu tinggi, kondisi beku/cair sementara pada fase konstruksi, kondisi abrasif, reaksi alkali-agregat, atau pertimbangan khusus lainnya yang mempengaruhi durabilitas struktur. Standar ini juga tidak mengatur mengenai pertimbangan estetika, seperti *finishing*. Jika diperlukan, hal ini juga harus dimasukkan dalam dokumen konstruksi. Persyaratan uji kekuatan untuk spesimen dengan perawatan standar dijelaskan dalam 26.12.3.
b) Proporsi campuran beton harus ditetapkan sesuai dengan Artikel 4.2.3 pada ACI 301 atau dengan metode alternatif yang diperbolehkan oleh perencana ahli bersertifikat. Metode alternatif harus memiliki probabilitas untuk memenihi persyaratan tes untuk benda uji standar sehingga hasilnya sama atau melebihi kekuatan beton yang didesain dengan metode pada Artikel 4.2.3 pada ACI 310. Jika artikel 4.2.3 pada ACI 301 digunakan, hasil pengujian yang digunakan untuk menetapkan proporsi campuran beton tidak boleh berumur lebih dari 24 bulan.	**R26.4.3.1 b)** Artikel 4.2.3 pada ACI 301 menjelaskan mengenai prosedur statistik untuk memilih kekuatan tekan rata-rata yang ada pada standar sebelumnya. Sebagai alternative, produsen beton dapat memeberikan bukti penerimaan kepada perencana ahli bersertifikat bahawa beton akan diproporsikan dengan cara lain untuk memenuhi persyaratan proyek dan kriteria penerimaan dalam 26.12.3. Standar ini menyatakan bahwa probabilitas tidak tercapai kriteria penerimaan pada 26.12.3 tidak lebih dari 1 banding 100. Metode proporsi ACI 301 akan mempertahankan tingkat resiko pada tingkat ini. Faktor utama dalam mengevaluasi metode proporsi alternatif adalah kemampuan mempertahankan tingkat resiko agar tetap rendah. Rujukan selanjutnya dapat dilihat dalam ACI 214R.
c) Material beton yang digunakan untuk proporsi campuran beton harus sesuai dengan yang material yang tertera pada dokumen konstruksi.	
d) Jika campuran beton yang berbeda digunakan untuk pekerjaan yang lain, tiap campuran harus sesuai dengan persyaratan campuran beton yang dinyatakan dalam dokumen konstruksi.	**R26.4.3.1 d)** Jika dalam proyek menggunakan lebih dari satu campuran beton, maka semua campuran beton harus memenuhi standar yang disyaratkan. Perubahan dalam material beton seperti sumber atau jenis material semen, agregat, atau bahan tambahan lainnya,

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	maka campuran dianggap berbeda. Perubahan kecil karena faktor lapangan tidak dianggap sebagai campuran baru. Persyaratan campuran beton untuk dicantumkan dalam dokumen konstruksi tercantum pada 26.4.2.1(a).
26.4.4 *Dokumentasi karakteristik campuran beton*	**R26.4.4** *Dokumentasi karakteristik campuran beton*
26.4.4.1 Syarat penerimaan a) Dokumentasi campuran beton harus ditinjau oleh perencana ahli bersertifikat sebelum digunakan dan dirubah komposisi campurannya. Bukti yang mendukung bahwa campuran beton telah memenuhi persyaratan harus dilampirkan dalam dokumen konstruksi. Bukti tersebut harus berdasarkan hasil uji lapangan atau uji laboratorium yang dikondisikan menyerupai lapangan.	**R26.4.4.1 a)** Peninjauan proporsi campuran beton perlu dilakukan agar proyek dipastikan aman. Perencana ahli bersertifikat umumnya menetapkan standar kekuatan berdasarkan 26.12.3 dan beton harus mencapai standar kekuatan tersebut. Prinsip statistik yang didiskusikan dalam ACI 214R cukup berguna dalam mengevaluasi apakah beton dapat mencapai kekuatan berdasarkan 26.12.3. Persyaratan campuran beton yang perlu dilampirkan dalam dokumen konstruksi dijelaskan dalam 26.4.1.2.(a).
b) Jika hasil uji lapangan atau laboratorium tidak tersedia dan nilai $f_c' \leq 35$ **MPa**, maka proporsi beton ditetapkan berdasarkan pengalaman atau informasi dari perencana ahli bersertifikat . Jika nilai $f_c' \geq 35$ **MPa** maka dokumentasi data pengujian proporsi beton yang menyatakan beton mencapai kekuatan yang diisyaratkan harus dilampirkan di dalam dokumen konstruksi.	**R26.4.4.1 b)** Jika nilai $f_c' \leq 35$ **MPa** dan data hasil pengujian tidak tersedia, maka proposi campuran beton harus dibuat sedemikian rupa agar memiliki kekuatan rata-rata yang tinggi. Petunjuk agar beton mencapai kekuatan rata-rata terdapat dalam ACI 214R. Tujuan ketentuan ini adalah agar proses konstruksi dapat berlanjut apabila terjadi gangguan yang tidak diduga dalam *supply* beton dan tidak ada waktu yang cukup untuk melaksanakan evaluasi dan pengujian. Ini utamanya berlaku untuk proyek skala kecil dimana biaya uji coba campuran beton tidak tersedia.
c) Jika tersedia data yang menyatakan bahwa kekuatan proporsi campuran beton telah mencapai atau melebihi kriteria kekuatan yang ditetapkan, maka diperbolehkan untuk merubah proporsi campuran beton menjadi lebih ekonomis. Namun, dokumentasi dan bukti bahwa campuran yang telah dimodifikasi akan sesuai dengan persyaratan campuran perlu ditunjukkan ke perencana ahli bersertifikat .	**R26.4.4.1 c)** Sering pada tahap awal proyek, campuran beton akan diproporsikan secara konservatif untuk memastikan beton memenuhii kriteria penerimaan uji kekuatan yang ada. Ketika hasil uji memperlihatkan nilai aktual variabilitas, maka campuran beton bisa diproporsikan lebih lanjut mengurangi konservatifitasnya. Petunjuk proporsi ini mengacu pada ACI 214R. Persyaratan yang menyatakan campuran beton harus dilampirkan dalam dokumen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	konstruksi yang dijelaskan pada 26.4.2.1(a).
26.5 - Produksi dan konstruksi beton	**26.5 - Produksi dan konstruksi beton** Rekomendasi mendetail mengenai pencampuran, penanganan, pengiriman, dan pengecoran beton dijelaskan dalam ACI 304R.
26.5.1 *Produksi beton*	**R26.5.1** *Produksi beton*
26.5.1.1 Syarat penerimaan:	
a) Material sementisius dan agregat harus disimpan untuk mencegah kontaminasi dan penurunan mutu. b) Material yang sudah terkontaminasi dan turun mutunya tidak boleh dipakai untuk beton.	
c) Peralatan untuk pencampuran dan pemindahan beton harus memenuhi ASTM C94M atau ASTM C685M.	**R26.5.1.1 c)** ASTM C94M dan ASTM C685M membahas persyaratan operasional mengenai peralatan yang dipakai untuk proses produksi beton.
d) Beton *ready-mix* dan cor di tempat harus disimpan dicampur, dan dikirim dengan metode ASTM C94M atau ASTM C685M.	**R26.5.1.1 d)** ASTM C94M adalah spesifikasi untuk beton *ready-mix* dimana material diukur berdasarkan massa (berat), dan produksi diukur berdasarkan jumlahnya. Metode ini yang paling umum digunakan dalam produksi beton, termasuk produksi beton pracetak. ASTM C685M adalah spesifikasi untuk beton dimana material diukur berdasarkan volume, dan produksi diukur berdasarkan durasi pencampuran. Spesifikasi ini juga menjelaskan mengenai kapasitas pencampur (*mixer*), tingkat akurasi alat ukur, akurasi mesin batch, pencampuran dan pengiriman, dan metode pengujian yang mengevaluasi keseragaman campuran beton.
26.5.2 *Pengecoran dan pemadatan beton*	**R26.5.2** *Pengecoran dan pemadatan beton*
26.5.2.1 Syarat penerimaan :	
a) Tempat yang nantinya akan dicor beton harus bersih dari sisa pecahan dan es.	**R26.5.2.1 a)** Bekisting harus bersih sebelum memulai proses pengecoran, terutama dari butiran kayu, paku, sisa pecahan, pasir, dan material lainnya.
b) Air yang mengendap harus dibersihkan sebelum melakukan pengecoran, kecuali menggunakan pipa tremie atau	**R26.5.2.1 b)** *Tremie* yang dimaksud dalam ketentuan ini tidak berupa tabung pendek atau “belalai gajah” (*elephant*

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
metode lain yang boleh digunakan oleh perencana ahli bersertifikat .	*trunk*). Pipa *tremie* adalah pipa dengan kedalaman tertentu yang digunakan untuk mengecor beton di bawah air dengan prosedur tertentu. Informasi mengenai pengecoran beton menggunakan pipa *tremie* terdapat dalam ACI 304R.
c) *Filler* batu bata yang berkontak langsung dengan beton harus dibasahi sebelum pengecoran.	
d) Peralatan yang digunakan untuk mengangkut beton dari alat pencampur ke lokasi akhir pengecoran wajib memenuhi persyaratan pengecoran.	**R26.5.2.1 d)** Standar ini mewajibkan peralatan yang digunakan dalam produksi beton agar mampu mengangkut beton secara menerus dalam segala kondisi dan metode pengecoran, contohnya pompa, *belt conveyor, pneumatic system,* troli*, crane,* dan *tremie.*
e) Beton tidak boleh dipompa menggunakan pipa yang terbuat dari alumunium atau campuran alumunium.	**R26.5.2.1 e)** Proses pemompaan beton menggunakan pipa yang terbuat dari alumunium atau campuran alumunium dapat berakibat berkurangnya kekuatan beton. Gas hidrogen yang muncul karena reaksi antara kandungan alkali dalam semen dan alumunium dapat mengakibatkan menurunnya kekuatan beton sampai 50 persen. Peralatan yang terbuat dari alumunium tidak boleh digunakan untuk pipa pompa hanya boleh digunakan untuk talang pendek yang mengangkut beton dari truk pencampur.
f) Beton harus dicor dengan ketentuan 1) hingga 5): 1) Beton harus mempunyai persediaan yang cukup sampai ke lokasi pengecoran. 2) Beton harus memiliki tingkat kelecakan (*workability*) yang cukup untuk mempermudah proses pemadatan . 3) Tanpa terjadinya segregasi dan kehilangan material. 4) Tanpa interupsi yang mengakibatkan berkurangnya kelecakan yang berefek terjadinya sambungan dingin (*cold joints*). 5) Disimpan sedekat-dekatnya dengan lokasi pengecoran.	**R26.5.2.1 f)** Penyediaan beton harus tersedia dalam jumlah yang konsisten dengan jumlah peralatan pengecoran dan pekerja yang ada. Beton yang disediakan dengan waktu cepat namun tidak diimbangi dengan jumlah pekerja dan peralatan yang cukup akan berakibat pada menurunnya kelecakan beton. Beton yang disediakan dalam waktu lambat akan berakibat pengerasan pada beton yang dicor sebelumnya dan terbentuknya sambungan dingin (*cold joints*). Setiap langkah penanganan dan pengiriman beton harus dikontrol dalam *bacth* dan dari *bacth* ke *bacth* agar kualitasnya tetap terjaga. Penting untuk menjaga agar tidak terjadi segregasi pada agregat kasar yang disebabkan oleh mortar atau air dari bahan lain. Proses penanganan dan pengiriman beton jarak jauh dari kendaraan pengantar

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	ke tempat pengecoran dapat menyebabkan segregasi. Oleh karenanya, disarankan agar beton disimpan sedekat-dekatnya dari lokasi pengecoran. Namun, campuran beton yang terkonsolidasi dengan sendirinya (*self-consolidating concrete*) dapat dikembangkan agar beradaptasi dengan jarak jauh dan mempertahankan stabilitas tanpa terjadi segregasi. Petunjuk untuk beton yang dapat terkonsolidasi dengan sendirinya terdapat dalam ACI 237R.
g) Beton yang telah terkontaminasi atau turun kelecakannya sampai tidak bisa dilakukan konsolidasi tidak dapat digunakan.	
h) Penambahan air untuk melunakkan campuran beton (*retempering*) sesuai dengan batas yang tertera di ASTM C94M.	**R26.5.2.1 h)** ASTM C94M memperbolehkan penambahan air untuk campuran beton sebelum beton dipompa untuk mencapai nilai slump tertentu, selama nilai w/cm masih aman dan di bawah batas maksimum.
i) Proses pengecoran beton harus dilakukan secara menerus sampai terbentuknya panel atau penampang.	
j) Beton harus dipadatkan dengan metode yang cocok ketika proses pengecoran, dan memenuhi ruang di sekitar tulangan, dan penanaman tulangan, dan ujung bekisting.	**R26.5.2.1 j)** Rekomendasi mendetail untuk konsolidasi beton diberikan di ACI 309R. Pedoman ini menjelaskan mengenai mekanisme konsolidasi atau pemadatan dan karakteristik peralatan, serta prosedur untuk berbagai jenis campuran beton.
k) Permukaan atas untuk *formed lift* vertikal harus datar.	
26.5.3 *Perawatan beton*	**R26.5.3** *Perawatan beton* - Rekomendasi mendetail untuk perawatan beton dijelaskan dalam ACI 308R. Pedoman ini menjelaskan mengenai perawatan beton yang benar dan metode, prosedur, dan material untuk perawatan beton.
26.5.3.1 Informasi desain:	
a) Jika diperlukan pengujian tambahan untuk mengecek apakah spesimen yang dirawat (*curing*) di lapangan telah memenuhi persyaratan, maka informasi yang diperlukan adalah nomor dan ukuran spesimen, serta frekuensi pengujian tambahan ini.	
26.5.3.2 Syarat penerimaan:	
a) Kecuali dapat mencapai kekuatan ideal dalam waktu singkat, beton harus disimpan di tempat lembab dengan suhu minimal 10°C setidaknya 7 hari setelah pengecoran, kecuali jika ditambahkan material untuk mempercepat proses perawatan.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Beton yang dapat mencapai kekuatan ideal dalam waktu singkat harus disimpan di kawasan lembab dengan suhu minimal 10°C setidaknya 3 hari setelah pengecoran, kecuali jika ditambahkan material untuk mempercepat proses perawatan.	
c) Percepatan perawatan yang dilakukan untuk mempercepat beton mencapai kekuatan ideal dan mereduksi waktu perawatan dapat dilakukan menggunakan mesin uap bertekanan tinggi, mesin uap bertekanan atmosfer, pemanasan dan pengembunan atau metode lain yang diizinkan oleh perencana ahli bersertifikat. Jika metode ini dilakukan, maka ketentuan 1) dan 2) harus diterapkan: 1) Nilai kekuatan tekan saat dilakukan uji pembebanan adalah nilai kekuatan tekan minimal yang diperlukan. 2) Percepatan perawatan tidak boleh mengurangi durabilitas beton.	**R26.5.3.2 c)** Pasal ini berlaku apabila metode percepatan perawatan beton digunakan, baik untuk beton pracetak maupun cor di tempat. EB-001.15, PCI MNL 116, dan PCI MNL 117 memberikan informasi umum mengenai percepatan perawatan. Metode percepatan perawatan membutuhkan pengamatan yang lebih mendalam untuk mencapai hasil maksimal. Penting untuk menjaga tingkat kelembaban ketika proses perawatan. Kekuatan tekan dari beton yang dipercepat perawatannya tidak akan setinggi beton normal yang secara konsisten dirawat pada kondisi lembab dengan suhu normal. Selain itu, nilai modulus elastisitas (E_c) dari spesimen yang dipercepat perawatannya mungkin saja berbeda.
d) Jika disyaratkan oleh pihak berwenang atau perencana ahli bersertifikat ,hasil pengujian spesimen silinder yang dibuat dan dirawat sesuai ketentuan 1) dan 2) harus diberikan dan dibandingkan dengan hasil pengujian spesimen silinder yang dibuat dan dirawat dengan metode standar. 1) Setidaknya dua spesimen silinder yang dirawat di lapangan berukuran 150 x 300 mm atau setidaknya tiga spesimen berukuran 100 x 200 mm yang dibuat dalam waktu dan sampel yang sama dengan spesimen silinder dengan perawatan standar. 2) Spesimen silinder yang dirawat di lapangan harus memenuhi prosedur yang tercantum dalam ASTM C31M dan diuji dengan ASTM C39M.	**R26.5.3.2 d)** Kekuatan silinder yang dirawat di lapangan perlu dievaluasi tingkat perawatan dan proteksi beton dalam struktur. Standar ini memberikan kriteria spesifik dari 26.5.3.2(e) untuk menilai tingkat kecukupan perawatan dan perlindungan beton. Untuk perbandingan yang lebih valid, spesimen yang dirawat di lapangan dan spesimen yang dirawat secara standar harus dibuat dari sampel yang sama. Dalam mengevaluasi spesimen yang dirawat di lapangan, perlu diketahui bahwa meskipun silinder dirawat dengan metode yang sama dengan silinder perawatan standar, riwayat suhunya mungkin berbeda. Perbedaan suhu ini terjadi karena panas oleh proses hidrasi mungkin saja hilang dengan cara yang berbeda.
e) Prosedur untuk perawatan dan perlindungan beton dianggap cukup jika ketentuan 1) atau 2) dipenuhi: 1) Kekuatan tekan rata-rata beton dengan perawatan di lapangan saat pengujian mencapai 85 persen atau	**R26.5.3.2 e)** Penelitian (Bloem 1986) menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan spesimen silinder yang dirawat untuk simulasi perawatan di lapangan harus minimal 85 persen dari spesimen silinder dengan perawatan standar. Namun, hasil pengujian dianggap memenuhi apabila

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
sama dengan nilai f_c' pada spesimen dengan perawatan standar. 2) Nilai kekuatan tekan rata-rata beton dengan perawatan di lapangan saat pengujian melebihi nilai f_c' yang ditetapkan sebesar 3,5 MPa.	kekuatan spesimen silinder dengan perawatan lapangan melebihi nilai f_c' yang ditetapkan sebesar 3,5 MPa, meskipun kekuatan spesimen tidak mencapai 85 persen dari kekuatan spesimen silinder dengan perawatan standar. Asumsi 85 persen ini dengan asumsi bahwa beton disimpan di kondisi lembab dengan suhu minimal 10°C setidaknya 7 hari setelah pengecoran, atau untuk beton yang dapat mencapai kekuatan ideal dalam waktu singkat disimpan di kondisi lembab dengan suhu minimal 10°C setidaknya 3 hari setelah pengecoran. Jika silinder dirawat lapangan tidak memberikan kekuatan yang memadai dengan perbandingan ini, langkah-langkah tertentu perlu diambil untuk meningkatkan perawatan. Jika hasil uji mengindikasikan adanya defisiensi pada kekuatan tekan beton, perlu dilakukan uji inti (*core)* dengan atau tanpa perawatan basah tambahan untuk mengevaluasi kekuatan beton, seperti yang dijelaskan pada 26.12.4.
26.5.4 *Pengecoran di cuaca dingin*	**R26.5.4** *Pengecoran di cuaca dingin*- Rekomendasi mendetail untuk pengecoran di cuaca dingin dijelaskan dalam ACI 306R. Persyaratan spesifikasi untuk pengecoran di cuaca dingin diberikan dalam ACI 301 dan ACI 306.1. Jika ACI 301 dan ACI 306.1 dirujuk dalam dokumen konstruksi, persyaratan yang ditetapkan hasus didentifikasi.
26.5.4.1 Informasi desain:	
a) Batas suhu untuk beton yang dicor di cuaca dingin.	**R26.5.4.1 a)** ASTM C94M, ACI 306R, dan ACI 301 menjelaskan mengenai persyaratan dan rekomendasi suhu beton di cuaca dingin berdasarkan ukuran penampang.
26.5.4.2 Syarat penerimaan:	
a) Peralatan yang cukup harus disediakan untuk menjaga agar beton tetap dalam suhu stabil saat cuaca dingin. b) Material yang telah membeku maupun material yang mengandung es tidak boleh digunakan. c) Bekisting, *filler*, dan tanah yang menjadi pijakan beton harus bebas dari es.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
d) Material dan metode produksi dipilih sehingga beton harus memenuhi batas suhu tertentu saat pengantaran.	
26.5.5 *Pengecoran di cuaca panas*	**R26.5.5** *Pengecoran di cuaca panas* - Rekomendasi mendetail untuk pengecoran di cuaca panas diberikan di ACI 305R. Pedoman ini mengidentifikasi factor-faktor cuaca panas yang mempengaruhi property beton dan praktik konstruksi dan rekomendasi untuk mengeliminasi atau mengurangi pengaruh yang tidak diharapkan. Persyaratan spesifikasi untuk pengecoran di cuaca panas diberikan di ACI 301 dan ACI 305.1.
26.5.5.1 Informasi desain:	
a) Batas suhu untuk beton yang dicor di cuaca panas.	**R26.5.5.1 a)** ACI 305 dan ACI 301 menjelaskan bahwa batas suhu beton maksimum saat pengecoran adalah 35 °C.
26.5.5.2 Syarat penerimaan:	
a) Peralatan yang cukup harus disediakan untuk menjaga agar beton tetap dalam suhu stabil saat berada di cuaca panas. b) Penanganan, pengecoran, perlindungan, dan prosedur perawatan harus membatasi suhu beton atau pengaruh evaporasi yang mengakibatkan reduksi pada kekuatan, kemampuan layan, dan durabilitas komponen atau struktur.	
26.5.6 Joint *Konstruksi, joint kontraksi, dan joint isolasi*	**R26.5.6** Joint *konstruksi, joint kontraksi, dan joint isolasi* - Untuk menjaga integritas struktur, joint pada struktur ditempatkan dan dibangun sesuai desain. Setiap penyimpangan dari keterangan yang tertera pada dokumen konstruksi harus dengan sepengetahuan perencana ahli bersertifikat. Joint konstruksi atau jaoint lainnya sedapat mungkin ditempatkan pada titik yang paling aman di struktur. Pengaruh gaya lateral bisa menjadi pertimbangan dalam desain joint.
26.5.6.1 Informasi desain:	
a) Jika disyaratkan dalam desain, lokasi, dan detail joint konstruksi, joint isolasi, dan joint kontraksi.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Detail diperlukan terkait transfer gaya geser dan gaya lain melewati joint konstruksi.	**R26.5.6.1 b)** Pengunci geser (*shear keys*), dowel diagonal, atau geser friksi dapat digunakan untuk transfer gaya. Jika dalam desain digunakan geser friksi pada sambungan antarmuka sesuai 22.9, maka keterangan ini harus disertakan dalam dokumen konstruksi.
c) Persiapan permukaan, termasuk pengasaran pada permukaan beton keras dimana beton baru akan dicor terhadap beton yang sudah keras sebelumnya	**R26.5.6.1 c)** Permukaan persiapan yang dijelaskan dapat diterapkan jika geser friksi sesuai dengan 22.9 dan untuk permukaan kontak pada joint konstruksi untuk dinding struktural.
d) Lokasi dimana terjadi transfer gaya geser antara baja canai (*as-rolled*) dan beton menggunakan stud berkepala atau tulangan yang di las harus dilakukan dengan kondisi tulangan harus bersih dan tidak dilapisi dengan cat.	**R26.5.6.1 d)** Lokasi untuk desain geser friksi sesuai 22.9.
e) Persiapan permukaan termasuk kekasaran yang disengaja bila lapisan atas pelat komposit dicor di tempat diatas lantai atau atap pracetak yang diharapkan berperilaku secara struktural dengan komponen pracetak.	
26.5.6.2 Syarat penerimaan :	
a) Lokasi atau detail sambungan yang berbeda dengan keterangan di dokumen konstruksi harus dilaporkan ke perencana ahli bersertifikat.	**R26.5.6.2 a)** Jika tidak ada lokasi spesifik sambungan yang ditetapkan, maka kontraktor harus berkonsultasi dengan perencana ahli bersertifikat untuk menetapkan lokasi sambungan yang tidak berbengaruh pada kinerja struktur.
b) Sambungan konstruksi pada lantai dan atap harus diletakkan di titik sepertiga dari tengah bentang pelat, balok, dan gelagar, kecuali apabila material menggunakan beton prategang.	**R26.5.6.2 b)** Tendon dari pelat atau balok pascatarik menerus umumnya ditegangkan pada titik di sepanjang bentang pelat dimana profil tendon berada di atau dekat titik sentroid pada penampang. Oleh karena itu, bagian interior dari sambungan konstruksi umumnya ditempatkan di titik sepertiga dari ujung bentang. Joint konstruksi yang ditempatkan pada sepertiga ujung pelat pascatarik menerus dan balok mempunyai riwayat kekuatan yang baik. Maka dari itu, 26.5.6.2(b) tidak berlaku untuk beton prategang.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
c) Sambungan konstruksi pada gelagar harus diseimbangkan pada jarak setidaknya dua kali lebar balok yang berpotongan, diukur dari muka balok yang berpotongan, kecuali terdapat peraturan lain yang disetujui oleh perencana ahli bersertifikat. d) Sambungan konstruksi harus bersih dan *laitance* harus dibersihkan sebelum pengecoran dilakukan. e) Permukaan sambungan konstruksi beton harus diperkasar apabila disyaratkan. f) Sebelum melakukan pengecoran, sambungan konstruksi harus dibersihkan dan bersih dari endapan air.	
26.5.7 *Konstruksi komponen beton*	**R26.5.7** *Konstruksi komponen beton*
26.5.7.1 Informasi desain:	
a) Rincian detail yang disyaratkan untuk mengakomodasi perubahan dimensi yang berasal dari gaya prategang, rangkak, susut, dan suhu. b) Identifikasi apabila pelat yang dicor di tanah didesain sebagai diafragma struktural atau bagian dari sistem pemikul gaya gempa.	**R26.5.7.1 b)** Pelat di atas tanah sering difungsikan sebagai diafragma yang menopang bangunan dan meminimalisir efek pergerakan tanah yang mungkin terjadi. Dokumen konstruksi harus mencantumkan bahwa pelat diatas tanah termasuk komponen struktur sehingga pelat tidak boleh mengalami pemotongan. Mengacu pada 26.5.7.2(d).
c) Detail konstruksi fondasi telapak miring atau berjenjang didesain sebagai satu kesatuan. d) Lokasi-lokasi dimana pengecoran pelat dan kolom harus dilakukan secara terintegrasi saat pengecoran sesuai 15.3. e) Lokasi-lokasi dimana beton berserat dibutuhkan untuk menahan gaya geser sesuai 9.6.3.1.	
26.5.7.2 Persyaratan penerimaan:	
a) Balok, gelagar, atau pelat yang ditopang oleh kolom atau dinding tidak boleh dicor sampai beton yang merupakan komponen vertikal tidak berada pada kondisi plastis tidak lagi dalam kondisi plastis.	**R26.5.7.2 a)** Tertundanya pengecoran komponen-komponen yang ditopang oleh kolom dan dinding kadang penting untuk meminimalisir potensi retak pada muka pelat dan komponen penopang, yang diakibatkan oleh *bleeding* dan penurunan plastis beton pada komponen penopang.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Balok, gelagar, haun (*haunches*), drop panel, dan *shear caps* harus ditempatkan secara monolit sebagai satu kesatuan sistem pelat, terkecuali dinyatakan lain dalam dokumen konstruksi.	**R26.5.7.2 b)** Penempatan terpisah antara pelat dan balok, haun, atau elemen serupa diperbolehkan jika dicantumkan dalam dokumen konstruksi, serta ketentuan dibuat untuk transfer gaya seperti yang disyaratkan di 22.9.
c) Lokasi dimana pelat beton dan kolom beton diperlukan untuk diintegrasikan selama penempatan, kolom beton harus diperpanjang minimal sedalam 600 mm ke dalam pelat lantai dari muka kolom dan diintegrasikan dengan lantai beton.	**R26.5.7.2 c)** Penerapan prosedur penempatan beton yang dijelaskan pada 15.3 mensyaratkan penempatan dua campuran berbeda pada sistem pelat lantai. Campuran beton berkekuatan rendah perlu dicor saat beton berkekuatan tinggi dalam kondisi plastis, dan perlu dilakukan vibrasi agar kedua campuran beton terintegrasi dengan baik. Hal ini membutuhkan koordinasi yang baik dalam pengiriman beton dan kemungkinan penggunaan retarder pada beton kolom. Penting untuk dimengerti bahwa beton berkekuatan rendah tidak boleh digunakan sebagai material kolom. Perencana ahli bersertifikat wajib mencantumkan lokasi penempatan masing-masing beton berkekuatan tinggi dan beton berkekuatan rendah dalam dokumen konstruksi.
d) Pemotongan pelat lantai dasar yang berfungsi sebagai diafragma struktur atau bagian dari sistem struktur pemikul gaya gempa tidak diperbolehkan, kecuali atas seizin perencana ahli bersertifikat.	**R26.5.7.2 d)** Aturan ini berlaku untuk pelat yang berfungsi sebagai diafragma struktur sesuai 26.5.7.1(b).
26.6 - Persyaratan material dan konstruksi tulangan	**R26.6 - Persyaratan material dan konstruksi tulangan**
26.6.1 *Umum*	**R26.6.1** *Umum*
26.6.1.1 Informasi desain:	
a) Ketentuan ASTM dan kelas tulangan. b) Tipe, ukuran, persyaratan lokasi, pendetailan, dan panjang penanaman tulangan. c) Jarak selimut beton ke tulangan. d) Lokasi dan panjang sambungan lewatan.	**R26.6.1.1 d)** Jika memungkinkan, letak sambungan lewatan ditempatkan tidak pada titik dimana tegangan tarik maksimum terjadi. Persyaratan ini dijelaskan pada 25.5.2.
e) Tipe dan lokasi sambungan mekanis. f) Tipe dan lokasi sambungan ujung.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
g) Tipe dan lokasi sambungan las dan tulangan lain yang dilas. h) Ketentuan ASTM untuk lapis pelindung pada tulangan nonprategang. i) Proteksi korosi untuk tulangan terpapar yang nantinya akan dilekatkan dengan ekstensi tulangan lain.	**R26.6.1.1 g)** Mengacu pada R26.6.4.
26.6.1.2 Syarat penerimaan:	
a) Hasil uji lapisan permukaan hasil oksidasi akibat pemanasan (*mill*) pada tulangan harus disertakan dalam dokumen konstruksi.	
b) Tulangan nonprategang yang berkarat, memiliki lapisan hasil oksidasi akibat pemanasan (*mill scale)* atau kombinasi keduanya dapat digunakan apabila dimensi minimumnya (termasuk tinggi ulir) dan berat per panjang memenuhi standar ASTM.	**R26.6.1.2 b)** Batas toleransi untuk karat didapatkan dari uji (Kemp et al. 1968) dan peninjauan pengujian sebelumnya. Kemp et al. (1968) menjelaskan pengaruh karat terhadap karakteristik lekat pada tulangan ulir. Riset menunjukkan bahwa karat dalam kadar normal dapat meningkatkan kekuatan lekat. Namun menghilangkan karat yang merusak lekatan antara tulangan dan beton tetap harus dilakukan.
c) Tulangan prategang harus bersih dari lapisan hasil oksidasi akibat pemanasan, lubang korosi (*pitting*) dan karat yang berlebih., lapisan karat dalam kadar minimal diperbolehkan.	**R26.6.1.2 c)** Pedoman untuk mengevaluasi kadar karat dalam *strand* dijelaskan oleh Sason (1992).
d) Ketika proses pengecoran, tulangan yang akan dilekatkan harus bersih dari lumpur, es, oli dan material lainnya yang akan mengurangi kekuatan lekatan.	**R26.6.1.2 d)** Penggunaan lapis epoksi sesuai dengan 20.6.2 diperbolehkan. Material yang digunakan untuk perlindungan tulangan prategang terhadap korosi pada tendon yang tidak dilekatkan tidak dianggap sebagai kontaminasi.
26.6.2 *Penempatan*	**R26.6.2** *Penempatan* - toleransi untuk tinggi total (baik bekisting maupun *finishing*) dan fabrikasi ikatan tertutup, sengkang, spiral, tulangan yang dibengkokkan tertera dalam ACI 117. Dalam desain, perencana ahli bersertifikat harus menerapkan toleransi yang lebih ketat dibanding toleransi yang tertera pada standar untuk meminimalisir akumulasi toleransi yang apabila terlalu banyak dapat mengakibatkan reduksi pada tinggi efektif atau selimut.
26.6.2.1 Informasi desain	Toleransi yang lebih ketat diperlukan pada jarak bersih minimum ke permukaan bawah (*soffit*) bekisting karena faktor durabilitas dan ketahanan terhadap api, serta tulangan umumnya didukung
a) Toleransi untuk lokasi tulangan dengan pertimbangan toleransi di titik d dan selimut beton tertentu harus sesuai dengan Tabel 26.2.1.(a)	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR

Tabel 26.6.2.1(a) – Toleransi *d* dan persyaratan selimut

***d*, mm**	**Toleransi pada *d*, mm**	**Toleransi pada persyaratan selimut beton, mm[1]**	
≤ 200	± 10	terkecil dari:	-10
			-(1/3) selimut beton
> 200	± 13	terkecil dari:	-13
			-(1/3) selimut beton

[1] Toleransi dari selimut beton ke permukaan bawah bekisting adalah 6 mm

b) Toleransi untuk lokasi bengkokan longitudinal pada ujung dan bengkokan tulangan harus sesuai dengan Tabel 26.6.2.1(b). Toleransi yang tercantum pada pada Tabel 26.6.2.1(a) juga berlaku untuk ujung komponen tidak menerus.

Tabel 26.6.2.1(b) – Toleransi untuk lokasi ujung dan bengkokan longitudinal tulangan

Lokasi ujung dan bengkokan longitudinal tulangan	**Toleransi, mm**
Ujung braket dan korbel yang tidak menerus	± 13
Ujung diskontinu dari batang lain tidak menerus	± 25
Lokasi lain	± 50

26.6.2.2 Syarat penerimaan

a) Tulangan, termasuk tulangan bundel, harus ditempatkan sesuai dengan toleransi yang disyaratkan untuk mencegah perpindahan di luar toleransi yang diterapkan ketika proses pengecoran.

b) Tulangan spiral harus berupa tulangan atau kawat menerus dengan jarak antar tulangan yang sama dan tanpa distorsi di atas toleransi yang disyaratkan.

PENJELASAN

sedemikian rupa agar toleransinya bisa diterapkan di lapangan.

Untuk tulangan prategang, toleransi yang lebih ketat dibanding toleransi yang tercantum di standar ini mungkin saja diterapkan. Namun, toleransi ini harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Rekomendasi untuk toleransi ini terdapat dalam ACI ITG-7.

Standar ini memperbolehkan toleransi penempatan tulangan pada tinggi efektif ***d*** yang mempunyai pengaruh terhadap kekuatan lentur dan kekuatan geser komponen struktur. Karena tulangan ditempatkan dengan pertimbangan ujung komponen dan permukaan bekisting, ***d*** tidak harus selalu diukur di lapangan. Hal ini harus dicantumkan dalam informasi desain pada dokumen konstruksi karena toleransi pada ***d*** harus dipertimbangkan dalam desain komponen struktur. Toleransi penempatan untuk selimut juga harus dicantumkan.

Toleransi untuk penempatan tulangan harus dicantumkan sesuai dengan ACI 117 kecuali toleransi yang lebih spesifik dibutuhkan.

R26.6.2 a) Tulangan, termasuk tulangan bundel, harus ditempatkan dengan baik untuk mencegah perpindahan yang diakibatkan oleh proses pengecoran maupun lalu lalang pekerja. Tulangan bundel baik vertikal maupun horizontal harus diikat. Tulangan sengkang harus didukung dengan sokongan pada ujung bawah bekisting balok.

R26.6.2 b) Tulangan spiral harus ditempatkan dengan peletakan yang benar untuk mencegah perpindahan ketika proses pengecoran. Jika menggunakan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	spacer, maka petunjuk di bawah ini harus digunakan: untuk tulangan spiral atau kawat dengan diameter lebih kecil dari 16 mm, untuk tulangan spiral dengan diameter lebih kecil dari 500 mm menggunakan minimal dua spacer, untuk tulangan spiral dengan diameter 500 hingga 750 mm menggunakan tiga *spacer*, untuk tulangan spiral dengan diameter lebih dari 750 mm menggunakan empat *spacer*. Untuk tulangan atau kawat spiral dengan diameter 16 mm, untuk spiral dengan diameter sama dengan atau kurang dari 600 mm menggunakan tiga spacer, dan untuk tulangan spiral dengan diameter lebih dari 600 mm menggunakan empat *spacer*.
c) Sambungan pada tulangan hanya diperbolehkan apabila dicantumkan dalam dokumen konstruksi, atau diizinkan oleh perencana ahli bersertifikat .	
d) Untuk tulangan longitudinal kolom yang membentuk sambungan di ujungnya, ujung sambungan harus ditahan pada kontak konsentris.	**R26.6.2 d)** Berdasarkan pengalaman, penggunaan sambungan di ujung tulangan hanya terjadi di tulangan vertikal pada kolom. Jika tulangan miring dengan sudut yang signifikan dari sumbu vertikal, maka ujung sambungan harus diperhatikan agar tidak mengurangi kekuatan tulangan karena terlalu miring.
e) Ujung tulangan harus diputus di permukaan yang rata dengan sudut sebesar 1,5 derajat dari sumbu tulangan, serta diluruskan 3 derajat dari ujung tahanan penuh setelah pemasangan.	**R26.6.2 e)** Toleransi ini ditetapkan berdasarkan pengujian komponen struktur dengan tulangan D57.
26.6.3 *Pembengkokkan*	**R26.6.3** *Pembengkokkan*
26.6.3.1 Syarat penerimaan:	
a) Tulangan harus dibengkokkan langsung sebelum dipasang, kecuali ada ketentuan lain yang diperbolehkan oleh perencana ahli bersertifikat.	
b) Melakukan pembengkokkan tulangan di lapangan yang sebagian tertanam di beton tidak boleh dilakukan, kecuali ditunjukkan dalam dokumen konstruksi atau diizinkan oleh perencana ahli bersertifikat.	**R26.6.3.1 b)** Dalam beberapa kasus diperbolehkan melakukan pembengkokan tulangan yang sebagian tertanam di beton, namun hal ini harus seizin perencana ahli bersertifikat. Dokumen konstruksi wajib mencantumkan dalam apakah tulangan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dibengkokkan langsung atau perlu dipanaskan terlebih dahulu. Pembengkokkan harus dilakukan secara bertahap dan diluruskan sesuai persyaratan. Pengujian (Black 1973; Stecich et al. 1984) menunjukkan bahwa tulangan memenuhi ASTM A615M Kelas 280 dan Kelas 420 dapat dibengkokkan secara langsung dan diluruskan sampai sudut 90 derajat pada atau mendekati diameter minimum yang tercantum pada 25.3. Jika retakan ditemukan, untuk mencegah agar sisa tulangan tidak ikut retak dapat dilakukan pemanasan sampai suhu 820°C. Tulangan yang retak tau putus ketika pembengkokan atau pelurusan dapat disambung diluar zona bengkokan. Pemanasan harus dilakukan sedemikian rupa dapat mencegah kerusakan pada beton. Jika zona bengkokan berada di jarak 150 mm dari beton, mungkin perlu ditambahkan sekat atau insulator. Pemanasan pada tulangan harus dikontrol dengan krayon yang mengindikasikan suhu tulangan atau metode lainnnya. Tulangan yang telah dipanaskan tidak boleh didinginkan dengan paksa (disiram air atau dikipas) sampai suhu tulangan menurun ke 320°C.
c) Tulangan *offset* harus dibengkokkan sebelum dipasang di bekisting.	
26.6.4 *Pengelasan*	**R26.6.4** *Pengelasan* - Jika diharuskan melakukan pengelasan tulangan, maka weldabilitas tulangan dan prosedur las yang tepat harus dipertimbangkan. AWS D1.4 mengatur mengenai pengelasan tulangan, termasuk kriteria untuk menilai prosedur pengelasan.
2.6.6.4.1 Syarat penerimaan **2.6.6.4.2** a) Pengelasan tulangan nonprategang harus sesuai dengan AWS D1.4. Spesifikasi ASTM untuk tulangan, kecuali ASTM A706M, harus dibuktikan dengan pengujian material tulangan yang membuktikan bahwa tulangan memenuhi AWS D1.4.	Weldabilitas tulangan ditentukan berdasarkan Karbon Ekuivalen (*Carbon Equivalent/CE*) yang dihitung dari komposisi kimia baja. AWS D1.4 menjelaskan mengenai suhu *preheat* dan *interpass* untuk berbagai angka Karbon Ekuivalen dan jenis tulangan. Berdasarkan AWS D1.4, terdapat dua metode untuk menghitung Karbon Ekuivalen. Metode yang hanya mempertimbangkan elemen karbon dan manggan digunakan untuk tulangan selain kategori ASTM A706M. Metode menghitung Karbon Ekuivalen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	yang lebih komprehensif diperlukan untuk tulangan ASTM A706M. ASTM A706M mengatur mengenai tulangan dengan campuran paduan rendah (low-alloy) yang ditujukan untuk penggunaan tulangan dengan kondisi terkontrol tarik, las, atau keduanya. Berdasarkan ASTM A706M, weldabilitas dapat tercapai dengan syarat Karbon Ekuivalen tidak melebihi 0,55 persen serta komposisi bahan kimia tulangan terkontrol dengan baik. ASTM A706M mensyaratkan agar produsen tulangan menyertakan uji material (Gustafson and Felder 1991). Jika mengelas tulangan yang bukan kategori ASTM A706M, analisis komposisi bahan kimia tulangan untuk menghitung Karbon Ekuivalen harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Apabila tulangan tidak diuji materialnya, maka tulangan yang sudah terpasang di struktur dapat di las. Kondisi ini umum ditemui dalam ekspansi bangunan. Jika komposisi bahan kimia tidak diketahui, AWS D1.4 mensyaratkan agar dilakukan prosedur *preheat*. Untuk tulangan selain kategori ASTM A706M, *preheat* yang disyaratkan adalah minimum 150°C untuk tulangan D19 atau yang lebih kecil, dan 260°C untuk tulangan D22 atau yang lebih besar. *Preheat* yang disyaratkan untuk tulangan kategori ASTM A706M terdapat dalam tabel Standar Pengelasan dengan angka Karbon Ekuivalen “antara 0,45 persen hingga 0,55 persen”. Faktor-faktor seperti tegangan tulangan, resiko kegagalan, dan kerusakan karena pemanasan pada beton harus dipertimbangkan. AWS D1.4 mensyaratkan kontraktor untuk mempersiapkan prosedur pengelasan yang sesuai dengan Standar Pengelasan. Lampiran A pada AWS D1.4 menjelaskan mengenai Standar Pengelasan. Pengelasan antar kawat ke kawat, atau tulangan ke kawat tidak dibahas dalam AWS D1.4. Jika ada pengelasan sejenis ini dilaksanakan dalam proyek, maka kriteria penggunaan dan spesifikasinya harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Jika melakukan pengelasan ke kawat dingin, maka dalam prosedur pengelasan harus memperhitungkan kehilangan

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	kekuatan leleh dan daktilitas akibat proses pendinginan dalam proses manufaktur kawat. Hal ini tidak menjadi pertimbangan ketika melakukan pengelasan tulangan kawat polos maupun kawat ulir kategori ASTM A1064M.
b) Pengelasan silang pada tulangan tidak boleh digunakan untuk memasang tulangan kecuali atas seizin perencana ahli bersertifikat .	**R26.6.4.1 b)** Las jelujur/las berbentuk silang (*tack welding*) dapat berefek merugikan karena efek torehan (*notch effect*) metalurgi pada salah satu tulangan. Pengelasan jelujur dapat dilaksanakan dengan aman hanya jika material las dan pengoperasiannya dikontrol dengan baik, seperti proses manufaktur kawat yang di las.
26.7 - Angkur beton **26.7.1** Informasi desain: a) Persyaratan untuk penilaian dan kualifikasi angkur sesuai 17.1.3. b) Tipe, ukuran, lokasi, tinggi efektif penanaman, serta pemasangan angkur. c) Jarak minimum ujung angkur sesuai 17.7. d) Persyaratan inspeksi sesuai 26.13. e) Untuk angkur tanam pascacor, parameter yang relevan dengan kekuatan angkur dalam desain, termasuk jenis angkur, kekuatan beton, dan jenis agregat. f) Untuk angkur adhesif, parameter yang relevan dengan karakteristik tegangan lekat dalam desain sesuai 17.4.5, termasuk umur minimum beton, suhu beton, kondisi kelembapan beton saat pemasangan angkur, jenis beton ringan yang digunakan, dan persyaratan untuk pengeboran serta persiapannya. g) Persyaratan untuk pemasangan angkur sesuai 17.8.1. h) Angkur adhesif yang dipasang secara horizontal atau miring ke atas, jika kuat menahan beban tarik tetap. i) Persyaratan sertifikasi angkur adhesif yang dipasang secara horizontal atau miring ke atas untuk menahan beban tarik tetap sesuai 17.8.2.2 dan 17. 8.2.3. j) Untuk angkur adhesif, uji beban (*proof loading*) bila diperlukan seperti yang disyaratkan 17.8.2.1.	**R26.7 - Angkur beton** Persyaratan minimum spesifikasi angkur yang menyatakan kesesuaian terhadap standar harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi. Untuk angkur adhesif (*adhesive anchor*), persyaratannya tergantung dari kualitas pemasangan dan inspeksinya.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
k) Lapis proteksi korosi untuk angkur yang terpekspos yang nantinya akan dipasang.	
26.7.2 Syarat penerimaan:	
a) Angkur pascatanam harus dipasang sesuai dengan instruksi pabrikan. Angkur adhesive pascatanam harus dipasang sesuai dengan Instruksi Cetak Instalasi Pabrikan (*Manufacturer's Printed Isntallation Instructions/MPII*).	**R26.7.2 a)** Instruksi Cetak Instalasi Pabrikan mengandung informasi relevan mengenai pemasangan angkur adhesive pascatanam dengan benar. Untuk angkur adhesif, persyaratannya tergantung dari kualitas pemasangan dan inspeksinya.
26.8 - Penanaman	
26.8.1 Informasi desain:	
a) Tipe, jenis, detail, dan lokasi penanaman. b) Tulangan yang dipasang tegak lurus terhadap penanaman pipa. c) Selimut beton yang disyaratkan untuk penanaman pipa dan sambungannya. d) Lapis pelindung korosi untuk penanaman tulangan yang terpapar, yang nantinya akan disambung.	
26.8.2 Syarat penerimaan:	
a) Tipe, jenis, detail, dan lokasi penanaman tulangan yang tidak dijelaskan dalam dokumen konstruksi harus dikonsultasikan dengan perencana ahli bersertifikat . b) Penanaman alumunium harus dilapisi untuk mencegah reaksi beton-alumunium, serta reaksi elektrolit antara alumunium dan tulangan. c) Pipa dan sambungannya (*fitting*) yang tidak tercantum dalam dokumen konstruksi harus didesain untuk menahan pengaruh tekanan, suhu, dan material. d) Tidak boleh ada zat cair, gas, atau uap, kecuali air yang suhunya tidak melewati 32°C atau tekanannya tidak melewati 0,35 MPa, yang ditempatkan di pipa kecuali beton telah mencapai kekuatan tekan yang ditentukan. e) Pada pelat solid, pipa harus ditempatkan antara tulangan atas dan bawah kecuali pemanasan radian atau pencairan salju. f) Pipa dan konduit harus difabrikasi dan dipasang sehingga tidak dibutuhkan	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
pemotongan, pembengkokkan, atau perpindahan tulangan dari lokasi spesifik.	
26.9 - Persyaratan tambahan untuk beton pracetak	**R26.9 - Persyaratan tambahan untuk beton pracetak**
26.9.1 Informasi desain:	
a) Toleransi dimensi komponen pracetak dan komponen interfasa.	**R26.9.1 a)** Desain komponen pracetak dan sambungannya sangat sensitif terhadap toleransi dimensi individual komponen dan lokasinya dalam struktur. Untuk mencegah kesalahpahaman, toleransi-toleransi yang digunakan dalam desain harus dinyatakan dalam dokumen konstruksi. Sebagai ganti menyatakan toleransi individual, tolerasi standar industri yang diasumsikan dalam desain dapat ditentukan. Toleransi yang menyimpang dari standar industri harus dijelaskan dalam dokumen konstruksi. Toleransi yang disyaratkan dalam 26.6.2 dianggap sebagai standar penerimaan minimum tulangan untuk beton pracetak. Produk standar industri dan toleransi ereksi dijelaskan dalam ACI ITG-7-09. Toleransi interfasa beton pracetak dengan beton yang cor di tempat diberikan dalam ACI 117.
b) Detail alat pengangkat, penanaman, dan tulangan yang digunakan untuk menahan beban sementara dalam proses penanganan, penyimpanan, pengiriman, dan ereksi, jika didesain oleh perencana ahli bersertifikat.	**R26.9.1 b)** Jika perangkat, penanaman atau tulangan tidak didesain oleh perencana ahli bersertifikat, maka detailnya harus dicantumkan dalam gambar kerja (*shop drawing*) sesuai 26.9.2(c).
26.9.2 Syarat penerimaan:	
a) Komponen-komponen harus ditandai untuk menunjukkan lokasi dan orientasi pada struktur, serta tanggal manufaktur. b) Tanda identifikasi komponen harus sesuai dengan gambar ereksi.	
c) Desain dan detail alat pengangkat, penanaman, dan tulangan yang dibutuhkan untuk menahan beban sementara dalam proses penanganan, penyimpanan, pengiriman, dan ereksi, harus dicantumkan dalam dokumen konstruksi apabila tidak didesain oleh perencana ahli bersertifikat.	**R26.9.2 c)** Mengacu pada R26.9.1(b). Ketika desain didelegasikan ke kontraktor, perencana ahli bersertifikat dapat menyertakan gambar kerja, perhitungan, atau keduanya.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
d) Ketika proses ereksi, komponen pracetak dan struktur harus didukung dan diperkuat untuk memastikan penempatan, kekuatan, dan stabilitas yang sesuai sampai dipasang sambungan permanen.	**R26.9.2 d)** Semua proses pelepasan sambungan sementara, bresing dan perancah termasuk urutannya dalam proses harus ditunjukkan dalam dokumen konstruksi atau gambar ereksi.
e) Jika disetujui oleh perencana ahli bersertifikat, material yang tertanam saat beton dalam kondisi plastis harus memenuhi ketentuan 1) hingga 4): 1) Material yang tertanam harus menjulur keluar dari beton pracetak, atau tetap terekspos ketika inspeksi. 2) Material yang tertanam tidak harus dikait atau diikat ke tulangan di dalam beton. 3) Material yang tertanam harus ditahan pada posisi yang benar ketika beton dalam kondisi plastis. 4) Beton harus dipadatkan dengan merata di sekitar material yang tertanam.	**R26.9.2 e)** Umumnya, beton pracetak dibuat sedemikian rupa sehingga sulit untuk menempatkan tulangan yang menjulur keluar sebelum beton dicetak. Contohnya, ikatan geser horizontal hanya dapat dipasang ketika beton dalam kondisi plastis apabila pemasangannya dilakukan dengan prosedur yang benar. Ketentuan ini tidak berlaku untuk tulangan yang sepenuhnya tertanam, atau material tertanam yang dikait atau diikat ke tulangan tertanam.
26.10 - Persyaratan tambahan untuk beton prategang **26.10.1** Informasi desain:	**R26.10 - Persyaratan tambahan untuk beton prategang**
a) Besaran dan lokasi gaya prategang b) Urutan pemberian gaya prategang pada tendon.	**R26.10.1 b)** Urutan penegangan perangkat angkur dapat mempunyai efek yang signifikan pada zona umum tegangan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan seluruh urutan gaya penegangan tendon, baik saat tahap pertengahan maupun tahap akhir. Gaya pencar (*bursting*) paling kritis yang disebabkan oleh kombinasi tendon pascatarik, serta kelompok tendon tersebut, harus diperhitungkan.
c) Tipe, ukuran, detail, dan lokasi angkur pascatarik untuk sistem struktur dipilih oleh perencana ahli bersertifikat. d) Toleransi penempatan tendon dan selonsong pascatarik sesuai Tabel 26.6.2.1(a). e) Material dan detail proteksi korosi untuk tendon, kopler dan penutup ujung (*end fitting*), angkur pascatarik dan daerah angkur.	**R26.10.1 e)** Untuk penjelasan mengenai lapis pelindung, tercantum dalam 4.2 dan 4.3 dari ACI 423.3R, dan 3.4, 3.6, 5, 6, dan 8.3 dari ACI 423.7. Persyaratan untuk lapis korosi terdapat dalam 20.6.1.4.2. Lapis korosi yang digunakan harus cocok dengan lingkungan dimana tendon terpasang. Dalam beberapa kondisi, tulangan prategang mungkin perlu

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	dilindungi dengan selimut beton atau semen *grouting* dalam selongsong besi atau plastik; dalam beberapa kondisi diperbolehkan lapisan yang terbuat dari cat atau oli. Metode proteksi korosi harus memenuhi persyaratan tahan api dalam peraturan umum bangunan terkecuali instalasi tendon eksternal pascatarik hanya meningkatkan kemampuan layan.
f) Persyaratan untuk selongsong (*duct*) untuk tendon terlekat.	**R26.10.1 f)** Petunjuk mengenai ketentuan selongsong untuk tendon terlekat terdapat dalam PTI M50.3 dan PTI M55.1.
g) Persyaratan grouting untuk tendon terlekat, termasuk syarat maksimum kandungan ion klorida terlarut dalam air (Cl^-) pada 19.4.1.	**R26.10.1 g)** Petunjuk mengenai ketentuan *grouting* untuk tendon terlekat terdapat dalam PTI M55.1.
26.10.2 Syarat penerimaan:	
a) Tipe, ukuran, detail, dan lokasi angkur pascatarik yang tidak dicantumkan dalam dokumen konstruksi harus diberikan ke perencana ahli bersertifikat untuk direview. b) Tendon dan selongsong pascatarik harus ditempatkan sesuai toleransi yang disyaratkan dan ditahan untuk mencegah perpindahan di luar toleransi yang ditetapkan ketika proses pengecoran. c) Sambungan *coupler* harus ditempatkan sesuai ketentuan dari perencana ahli bersertifikat . d) Pemanasan atau pengelasan di sekitar tulangan prategang harus dilakukan dengan seksama, karena saat pengelasan tulangan akan menerima percikan las, arus listrik, serta suhu yang dapat merusak karakteristik tulangan.	
e) Gaya prategang dan kehilangan friksi harus dipastikan dengan ketentuan 1) dan 2): 1) Perpanjangan (elongasi) yang terukur pada tulangan prategang dibandingkan dengan perpanjangan yang dihitung dengan modulus elastisitas yang diambil dari pengujian atau info dari pabrikan. 2) Gaya jacking yang diukur menggunakan alat yang telah dikalibrasi seperti *load cell*, dynamometer, atau pengukur	**R26.10.2 e)** Pengukuran perpanjangan atau elongasi prategang harus sesuai dengan prosedur yang tertera dalam *Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products* (MNL 117), yang diterbitkan oleh Precast/Prestressed Concrete Institute.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
tekanan hidrolik (*hydraulic pressure gauge*).	
f) Perbedaan penentuan gaya antara ketentuan 1) dan 2) dari 26.10.2(e) yang melebihi 5 persen untuk konstruksi pratarik, atau 7 persen untuk konstruksi pascatarik harus dipastikan dan dikoreksi terlebih dahulu kecuali bila mendapat persetujuan dari perencana ahli bersertifikat.	**R26.10.2 f)** Toleransi 5 persen untuk konstruksi pratarik diambil dari pengamatan sebelumnya. Karena tulangan prategang untuk konstruksi pratarik umumnya ditegangkan di udara dengan efek friksi minimal, toleransi 5 persen dianggap normal. Ukuran perpanjangan untuk konstruksi pascatarik dipengaruhi oleh beberapa faktor yang kurang signifikan dibandingkan dalam konstruksi pratarik. Friksi di sepanjang tulangan prategang dalam penerapan pascatarik mungkin dipengaruhi oleh toleransi yang ditetapkan dan ketidakrataan profil tendon, serta penempatan beton. Koefisien friksi antara tulangan prategang dan selongsong juga mempengaruhi.
g) Kehilangan gaya prategang karena tidak digantinya tulangan prategang yang rusak tidak boleh melebihi 2 persen dari gaya prategang total dalam komponen beton prategang.	**R26.10.2 g)** Ketentuan ini berlaku untuk semua komponen struktur prategang. Untuk sistem pelat pascatarik yang dicor di tempat, parameter dalam pelat tersebut dianggap sebagai elemen dalam desain, seperti *joist* dan lebar efektif pelat dalam sistem pelat *joist* satu arah, atau kolom strip dalam sistem pelat dua arah.
h) Jika transfer gaya dari angkur pada bidang pratarik ke beton dilakukan dengan metode las asetelin (pemotongan) pada tulangan prategang, lokasi las dan urutan pemotongan harus benar untuk mencegah tegangan sementara pada komponen pratarik.	
i) Panjang *strand* pratarik yang terpapar harus dipotong di dekat batang untuk meminimalisir faktor kejut pada beton.	
j) Tulangan prategang dalam konstruksi pasca tarik tidak boleh ditegangkan sampai beton mencapai kekuatan minimal 17 MPa untuk strand tunggal atau batang tendon, 28 MPa untuk *strand* majemuk. Pengecualian untuk persyaratan ini dijelaskan dalam 26.10.2k).	
k) Kekuatan tekan beton yang lebih rendah dari 26.10.2j) boleh diperbolehkan apabila ketentuan 1) dan 2) dipenuhi: 1) Angkur yang berukuran besar digunakan untuk mengkompensasi rendahnya kekuatan tekan beton.	**R26.10.2 k)** Untuk membatasi retak susut di tahap awal, tendon *monostrand* ditegangkan saat kekuatan tekan beton kurang dari 17 MPa. Dalam beberapa kasus, dapat menggunakan angkur monostrand dengan ukuran besar, atau strand yang ditegangkan dalam tahap

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
2) Tulangan prategang ditegangkan tidak lebih dari 50 persen gaya prategang akhir.	sepertiga atau setengah dari gaya prategang akhir.
26.11 - Bekisting	**R26.11 - Bekisting**
26.11.1 *Desain bekisting*	**R26.11.1** Umumnya desain bekisting diatur oleh kontraktor, dan standar ini memberikan persyaratan minimum kinerja bekisting untuk kesehatan dan keselamatan kerja. Desain bekisting, konstruksi dan pelepasan membutuhkan penilaian dan perencanaan yang tepat untuk mencapai keamanan. Informasi yang detail mengenai bekisting untuk beton tercantum dalam "*Guide to Formwork for Concrete*" (ACI 347). Pedoman ini mencakup desain, konstruksi, material bekisting, dan bekisting untuk struktur yang berbentuk unik ini ditujukan untuk kontraktor, namun juga membantu perencana ahli bersertifikat dalam menyiapkan dokumen kosntruksi. *Formwork for Concrete*, ACI SP-4, adalah buku petunjuk praktis untuk kontraktor, perencana, dan arsitek dengan mengikuti petunjuk pada ACI 347. Tercantum pula tabel, diagram, dan rumus pembebanan untuk desain bekisting. Rujukan mengenai spesifikasi bekisting terdapat dalam ACI 301 *Section* 2. Pasal 24.2.5 membahas mengenai persyaratan defleksi pada komponen struktur dengan atau tanpa perancah.
26.11.1.1 Informasi desain: a) Persyaratan untuk kontraktor dalam desain, fabrikasi, pemasangan, serta pelepasan bekisting. b) Lokasi komponen komposit yang membutuhkan perancah. c) Persyaratan untuk pelepasan perancah pada batang komposit.	
26.11.1.2 Syarat penerimaan: a) Desain bekisting harus mempertimbangkan ketentuan 1) hingga 5): 1) Metode pengecoran beton. 2) Laju pengecoran beton. 3) Beban konstruksi, termasuk beban vertikal, horizontal, dan impak. 4) Menghindari perusakan komponen yang telah terpasang sebelumnya.	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
5) Untuk komponen struktur pascatarik, perpindahan komponen yang diizinkan ketika terjadi gaya prategang tanpa merusak komponen struktur. b) Fabrikasi bekisting dan pemasangan pada struktur akhir yang sesuai dengan bentuk, garis, dan dimensi komponen struktur sesuai dengan dokumen konstruksi. c) Bekisting harus dipasang dengan rapat untuk mencegah bocornya pasta atau mortar. d) Bekisting harus disokong dan diikat untuk mempertahankan posisi dan bentuk.	
26.11.2 *Pelepasan bekisting* **26.11.2.1** Syarat penerimaan: a) Sebelum memulai konstruksi, kontraktor harus membuat prosedur dan jadwal pelepasan bekisting dan pemasangan perancah, serta menghitung beban yang ditransfer ke struktur saat tahap ini. b) Analisis struktur dan persyaratan kekuatan beton yang digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan pelepasan bekisting dan pemasangan kembali perancah harus dilaksanakan dan diserahkan oleh kontraktor ke perencana ahli bersertifikat dan pihak berwenang jika diminta. c) Tidak boleh ada beban konstruksi maupun bekisting yang sebelumnya telah dilepas yang diletakkan di bagian manapun dari struktur. Kecuali bagian struktur tersebut cukup kuat untuk menahan berat sendiri. d) Hasil analisis struktur harus menunjukkan bahwa struktur aman dengan pertimbangan beban rencana, kekuatan bekisting, dan perkiraan kekuatan tekan beton yang cor di tempat.	**R26.11.2** *Pelepasan bekisting* – Dalam menentukan waktu pelepasan bekisting, harus mempertimbangkan beban rencana, kekuatan tekan beton yang cor di tempat, dan kemungkinan terjadinya defleksi yang lebih besar dari standar (ACI 347 dan ACI 347.2R). Beban konstruksi mungkin saja lebih besar daripada beban hidup. Meskipun struktur mempunyai kekuatan untuk mendukung beban pada umur awal, defleksi dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan layan struktur. Pelepasan bekisting dalam konstruksi gedung bertingkat wajib dicantumkan dalam perencanaan prosedur yang dilakukan oleh kontraktor dengan mempertimbangkan dukungan sementara untuk keseluruhan struktur maupun masing-masing komponen struktur. Perencanaan prosedur ini harus memenuhi ketentuan a) hingga e): a) Sistem struktur yang ada pada semua tahap konstruksi, serta beban konstruksinya; b) Kekuatan tekan beton yang cor di tempat, pada semua tahap konstruksi; c) Pengaruh deformasi pada struktur dan sistem perancah dalam distribusi beban mati dan beban konstruksi pada semua tahap konstruksi; d) Kekuatan, jarak, dan metode perancah yang digunakan, serta bresing, pelepasan dan pemasangan perancah, termasuk interval waktu minimum ketika operasional;

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	e) Beban lain yang mempengaruhi keamanan maupun kemampuan layan struktur ketika konstruksi; Informasi mengenai pemasangan perancah untuk konstruksi gedung bertingkat terdapat dalam ACI 347.2R.
e) Perkiraan kekuatan beton cor di tempat diambil berdasarkan pengujian silinder di lapangan, atau metode lain yang diterima oleh perencana ahli bersertifikat dan bila disyaratkan harus disetujui oleh pihak berwenang.	**R26.11.2.1 e)** Evaluasi kekuatan beton pada tahap konstruksi dapat didemonstrasikan dengan pengujian silinder di lapangan atau prosedur lain yang diterima oleh perencana ahli bersertifikat dan bila diminta disetujui oleh pihak berwenang, dengan syarat memenuhi ketentuan a) hingga d): a) Pengujian silinder dicor di tempat sesuai ASTM C837M. Metode ini digunakan hanya untuk pelat dengan ketebalan 125 hingga 300 mm b) Tahanan terhadap penetrasi sesuai dengan ASTM C803M c) Kekuatan cabut (*pullout*) sesuai dengan ASTM C900 d) Indeks kematangan (*maturity index*) dan korelasi sesuai dengan ASTM C1074 Dibutuhkan data material proyek yang cukup untuk memenuhi ketentuan b), c), dan d) serta mengetahui korelasi antara ukuran struktur dengan kekuatan tekan silinder. Metode untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton cor di tempat terdapat dalam ACI 228.1R.
f) Pelepasan bekisting harus dilakukan dengan seksama agar tidak mengurangi kemampuan layan dan keamanan struktur. g) Beton yang terpapar karena pelepasan bekisting harus mempunyai kekuatan tekan yang cukup agar tidak terpengaruh pelepasan bekisting. h) Pendukung bekisting untuk komponen struktur pascatarik tidak boleh dilepas sampai kondisi komponen struktur cukup kuat untuk menahan beban mati dan beban konstruksi.	
i) Beban konstruksi yang melebihi kombinasi beban mati dan beban hidup serta reduksinya tidak boleh ditempatkan di bagian struktur tanpa perancah, kecuali hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan	**R26.11.2.1 i)** Beban hidup nominal yang dinyatakan pada gambar sering direduksi untuk komponen struktur yang menahan lantai dengan area yang luas, batas beban konstruksi harus diperhitungkan untuk reduksi ini.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
beban tersebut tanpa mengurangi kemampuan layan.	
26.12 - Evaluasi dan penerimaan beton **26.12.1** *Umum*	**R26.12 - Evaluasi dan penerimaan beton** **R26.12.1** *Umum*
26.12.1.1 Syarat penerimaan:	
a) Uji kekuatan tekan adalah hasil rata-rata pengujian setidaknya dua silinder berukuran 150 mm x 300 mm atau tiga silinder berukuran 100 mm x 200 mm yang terbuat dari beton dengan sampel yang sama dan berusia 28 hari, atau usia pengujian saat beton mencapai f_c'.	**R26.12.1.1 a)** Uji kekuatan tekan bisa saja dilakukan dengan jumlah silinder lebih dari yang disyaratkan untuk mencegah data pencilan (*outlier*) kekuatan silinder individu sesuai dengan ACI 214R. Bila kekuatan silinder individu dibuang berdasarkan ACI 214R, uji kekuatan adalah valid setidaknya hasil rata-rata pengujian dua silinder berukuran 150 mm x 300 mm atau tiga silinder berukuran 100 mm x 200 m. Semua kekeuatan selinder individu yang tidak dibuang berdasarkan ACI 214R adalah digunakan untuk menghitung kekuatan rata-rata. Ukuran dan jumlah spesimen yang digunakan dalam pengujian kekuatan harus sama untuk tiap campuran beton. Ukuran silider harus disepakati oleh pemilik, perencana ahli bersertifikat dan institusi pengujian sebelum konstruksi. Pengujian tiga buah silinder berukuran 100 x 200 mm dapat menghasilkan kekuatan rata-rata yang lebih terpercaya dibandingkan pengujian dengan dua buah silinder, karena silinder 100 x 200 umumnya memiliki variasi nilai kekuatan tekan 20 persen lebih tinggi dibandingkan silinder 150 x 300 mm (Carino et al. 1994).
b) Institusi yang melakukan pengujian beton harus memenuhi ketentuan dalam ASTM C1077.	**R26.12.1.1 b)** ASTM C1077 menentukan tugas, kewajiban, dan ketentuan teknis minimum untuk personil yang melakukan pengujian, serta persyaratan untuk alat yang digunakan dalam pengujian beton dan agregat. Institusi yang menguji beton silinder atau beton inti terhadap standar syarat penerimaan harus diakreditasi dan diinspeksi untuk memenuhi persyaratan-persyaratan dalam ASTM C1077 oleh pihak yang berwenang.
c) Pengujian beton segar di lapangan, persiapan spesimen untuk perawatan standar, persiapan untk perawatan lapangan dan mencatat suhu beton segar harus dilakukan oleh teknisi yang berkualifikasi	**R26.12.1.1 c)** Kualifikasi untuk teknisi bisa didapatkan melalui program sertifikasi. Teknisi lapangan bertugas untuk *sampling* beton; uji *slump*; massa jenis; leleh; kadar udara; dan suhu. Pembuatan dan perawatan spesimen uji

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	harus disertifikasi dengan ketentuan *ACI Concrete Field Testing Technician-Grade 1, ASTM* C1077; atau program yang setara.
d) Pengujian di laboratorium harus dilakukan oleh laboran yang berkualifikasi.	**R26.12.1.1 d)** Laboran untuk pengujian laboratorium harus bersertifikasi sesuai dengan *ACI Concrete Laboratory Testing Technician-Level 1 Certification Program, the ACI Concrete Strength Testing Technician Certification Program*, persyaratan yang tercantum dalam ASTM C1077, atau program yang setara.
e) Semua laporan mengenai pengujian kelayakan beton harus diserahkan ke semua pihak yang terlibat yaitu perencana ahli bersertifikat, kontraktor, produsen beton dan bila disyaratkan juga kepada pemilik dan pihak berwenang.	**R26.12.1.1 e)** Standar ini mensyaratkan agar laporan pengujian didistribusikan ke semua pihak yang terlibat dalam proses desain, konstruksi, dan inspeksi. Ketentuan mengenai distribusi laporan pengujian ini harus disertakan dalam kontrak inspeksi dan pengujian. Distribusi laporan pengujian yang benar dapat mengidentifikasi secara tepat waktu apakah spesimen layak atau perlu diperbaiki proporsi campurannya untuk pekerjaan ke depan.
26.12.2 *Frekuensi pengujian*	**R26.12.2** *Frekuensi pengujian*
26.12.2.1 Persyaratan penerimaan:	
a) Sampel untuk spesimen uji kekuatan setiap campuran beton harus memenuhi ketentuan 1) hingga 3): 1) Setidaknya sekali sehari. 2) Setidaknya sekali untuk setiap 110 m^3 beton. 3) Setidaknya sekali untuk setiap 460 m^2 luas permukaan pelat atau dinding.	**R26.12.2.1 a)** Sampel pengujian harus diambil secara acak. Agar mewakili periode pengujian, waktu *sampling*, atau *batching* beton, menggunakan basis kesempatan pengujian. Sampel *batching* beton tidak diambil dengan basis tampilan, kenyamanan, atau kriteria bias lainnya, jika hal ini dilakukan maka akan menyebabkan analisis statistik yang dilakukan menjadi tidak kredibel. Spesimen untuk satu uji kekuatan (seperti yang tercantum dalam 26.12.2.1(a)) harus terbuat dari satu *batch*, serta tidak boleh ada material lain yang ditambahkan setelah sampel diuji. Dalam menghitung luas permukaan, cukup satu sisi permukaan pelat atau dinding yang dihitung. Kriteria 3) membutuhkan *sampling* lebih dari sekali untuk setiap 110 m^3 beton yang ditempatkan jika rata-rata ketebalan dinding atau pelat kurang dari 240 mm.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
b) Jika volume total beton berjumlah sangat besar sehingga pengujian dengan frekuensi tinggi hanya akan menghasilkan kurang dari lima jenis kekuatan untuk setiap campuran beton, spesimen pengujian harus dibuat dari lima *batch* yang dipilih secara acak. c) Jika volume total campuran beton kurang dari 38 m^3, maka pengujian tidak perlu dilakukan jika ada bukti lain yang menyatakan bahwa beton telah memenuhi persyaratan dan disetujui oleh pihak berwenang.	
26.12.3 *Kriteria penerimaan untuk spesimen dengan perawatan standar*	**R26.12.3** *Kriteria penerimaan untuk spesimen dengan perawatan standar* – Evaluasi dan penerimaan beton dapat dinilai segera setelah hasil uji diterima ketika pelaksanaan. Kekuatan beton uji yang tidak memenuhi kriteria akan muncul sekali atau dua kali dalam pengujian, dengan kemungkinan satu dalam 100 pengujian (ACI 214R) meskipun kekuatan beton dan keseragamannya telah memenuhi persyaratan. Kriteria penerimaan dalam ketentuan 26.12.3.1(b) berlaku untuk spesimen silinder berukuran 100 x 200 mm atau 150 x 300 mm yang diperbolehkan dalam ketentuan 26.12.1.1(a). Perbedaan rata-rata (Carino et al. 1994) antara hasil pengujian dengan dua ukuran spesimen tidak dianggap signifikan dalam desain.
26.12.3.1 Syarat penerimaan: a) Spesimen untuk uji penerimaan harus memenuhi ketentuan 1) dan 2): 1) Sampel beton yang digunakan untuk spesimen uji kekuatan harus memenuhi ketentuan ASTM C172M. 2) Spesimen silinder harus dibentuk dan dirawat sesuai ASTM C31M dan diuji sesuai ASTM C39M. b) Kekuatan tekan tiap campuran beton dapat diterima jika memenuhi ketentuan 1) dan 2): 1) Setiap rata-rata tiga spesimen pengujian kekuatan tekan yang dilakukan secara berurutan, dengan kekuatan tekan sama dengan atau melebihi f_c'. 2) Kekuatan tekan tidak boleh lebih rendah dari f_c' sebesar 3,5 MPa jika nilai f_c' kurang dari atau sama dengan 35 MPa, atau lebih dari **0,10** f_c' jika nilai f_c' melebihi 35 MPa. c) Jika ketentuan pada 26.12.3.1(b) tidak terpenuhi, maka langkah-langkah harus diambil untuk meningkatkan rata-rata hasil kekuatan tekan beton.	**R26.12.3.1 c)** Untuk meningkatkan kekuatan tekan beton, salah satu tindakan a) hingga g) atau lebih dari ketentuan di bawah ini dapat dilakukan: a) Meningkatkan material sementisius dalam campuran beton; b) Reduksi atau kontrol kadar air yang lebih ketat; c) Penggunaan bahan tambahan yang mengurangi air untuk meningkatkan dispersi material sementisius;

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	d) Perubahan proporsi campuran beton; e) Reduksi waktu pengiriman; f) Kontrol kadar udara yang lebih ketat; g) Peningkatan kualitas pengujian yang memenuhi ASTM C172M, ASTM C31M, dan ASTM C39M. Perubahan prosedur operasional atau perubahan kecil dalam material semen atau kadar air tidak membutuhkan izin formal untuk merubah proporsi campuran beton; namun perubahan dalam jenis semen, agregat, atau bahan campuran harus disertakan dengan bukti yang menyatakan bahwa kekuatan tekan rata-rata akan meningkat.
d) Persyaratan untuk investigasi beton dengan kekuatan tekan rendah harus diterapkan jika 26.12.3.1(b) (2) tidak dapat terpenuhi.	
26.12.4 *Investigasi pengujian dengan hasil kekuatan tekan rendah* **26.12.4.1** Syarat penerimaan:	**R26.12.4** *Investigasi pengujian dengan hasil kekuatan tekan rendah*-Jika hasil pengujian tidak memenuhi kriteria kelayakan, maka 26.12.3.1(b)(2) atau 26.5.3.2(e) dapat dilakukan. Kedua pasal tersebut hanya berlaku untuk evaluasi kekuatan tekan beton yang diuji di tempat pada tahap konstruksi. Evaluasi kekuatan untuk struktur eksisting terdapat dalam Pasal 27. Jika memerlukan investigasi lebih jauh, maka investigasi untuk beton yang diuji di tempat tercantum dalam ACI 228.1R atau dalam kasus tertentu, uji kekuatan beton inti yang diambil dari struktur. Metode pengujian beton di tempat, seperti uji penetrasi (ASTM C803M), *hammer rebound* (ASTM C805M), atau uji cabut (ASTM C900), dapat berguna apabila sebagian struktur mengandung beton berkekuatan rendah. Terkecuali uji-uji ini telah dikorelasikan dengan standar kekuatan hasil pengujian untuk beton di struktur, nilanya utamanya untuk perbandingan kekuatan diantara struktur yang sama daripada untuk perikiraan kekuatan. Untuk uji beton inti (*core)*, kriteria penerimaan yang lebih ketat dapat digunakan untuk menjamin struktur dengan tipe apapun mencapai keamanan yang cukup (Bloem 1965, 1968; Malhotra 1976, 1977). Beton berkekuatan rendah

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	bisa ditoleransi, namun harus seizin perencana ahli bersertifikat. Jika kekuatan beton inti berdasarkan 26.12.4.1(c) tidak memenuhi 26.12.4.1(d), dapat dilakukan evaluasi kekuatan yang tercantum pada Pasal 27, terutama pada sistem lantai atau atap. Evaluasi kekuatan yang pendek, jika waktu dan kondisi mengizinkan, usaha untuk meningkatkan kekuatan beton dengan tambahan perawatan basah (*wet curing*) dapat dilakukan. Efektivitas perawatan tambahan harus diverifikasi dengan evaluasi kekuatan menggunakan prosedur yang dibahas sebelumnya. Standar dan investigasi beton berkekuatan rendah (26.12.4) mengharuskan tercapainya keamanan struktur. Memperbaiki defisiensi kekuatan beton bukan tujuan standar ini.
a) Jika nilai kekuatan silinder dengan perawatan standar kurang dari f_c' melebihi batas yang ditentukan, atau jika pengujian silinder yang diuji lapangan mengindikasikan defisiensi dalam perlindungan dan perawatan, maka kekuatan struktur harus ditingkatkan. b) Jika tingkat keamanan struktur berkurang karena beton berkekuatan rendah, uji beton inti yang dilakukan pada daerah yang diragukan boleh dilakukan sesuai ASTM C42M. Tiga pengujian beton inti harus dilakukan untuk setiap uji kekuatan yang hasilnya kurang dari f_c' lebih dari batas yang ditentukan.	**R26.12.4.1 a)** Jika kekuatan silinder perawatan lapangan tidak memenuhi 26.5.3.2(e), maka perawatan beton perlu ditingkatkan. Jika pengujian lapangan mengkonfirmasi defisiensi dalam kekuatan tekan beton pada struktur, maka uji beton inti dapat dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas struktur.
c) Beton inti (*core*) harus diambil, dijaga kelembabannya dalam kontainer atau tempat yang kedap air, diantarkan ke tempat pengujian, dan diuji sesuai ASTM C42M. Beton inti harus diuji dengan waktu antara 48 jam dan 7 hari setelah *coring* kecuali tindakan lain diperbolehkan oleh perencana ahli bersertifikat . Verifikator pengujian yang dirujuk dalam ASTM C42M adalah perencana ahli bersertifikat atau pihak berwenang.	**R26.12.4.1 c)** Pengawetan ini akan menghasilkan beton inti dengan gradien penguapan antara permukaan eksterior dengan interior. Gradien ini menyebabkan rendahnya kekuatan tekan beton inti (Bartlett and MacGregor 1994). Ketentuan minimal 48 jam antara waktu *coring* dan pengujian adalah agar gradien penguapan dapat berkurang. Waktu maksimum antara *coring* dan pengujian ditujukan untuk pengujian ulang beton inti apabila kekuatan tekan beton tidak cukup tinggi. Riset (Bartlett and MacGregor 1994) menunjukkan bahwa prosedur penguapan yang lain, seperti pengeringan atau pengipasan dapat mempengaruhi

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kekuatan beton dalam pengujian lapangan. Oleh karena itu, prosedur penguapan yang memperbolehkan disipasi gradien penguapan dapat diterapkan untuk beton inti. ASTM C42M memperbolehkan tindakan spesifik dalam pengujian untuk merubah durasi kondisi penguapan sebelum pengujian.
d) Beton dalam zona yang diuji beton inti dianggap cukup apabila ketentuan 1) dan 2) terpenuhi: 1) Rata-rata tiga beton inti sama dengan atau sekurangnya 85 persen nilai f_c'. 2) Tidak ada satupun hasil beton inti yang kurang dari 75 persen f_c'.	**R26.12.4.1 d)** Kekuatan tekan beton inti rata-rata sebesar 85 persen dari kekuatan tekan spesifik adalah nilai yang realistis (Bloem 1968). Namun, tidak realistis jika mengharapkan kekuatan tekan rata-rata beton inti sama dengan f_c', karena perbedaan ukuran, kondisi, derajat konsolidasi spesimen dan kondisi perawatan. Kriteria kelayakan untuk kekuatan beton inti telah ditetapkan dengan pertimbangan beton inti yang digunakan untuk menginvestigasi beton berkekuatan rendah diambil pada usia lebih tua dari usia f_c'. Agar memenuhi 26.12.4.1(d), standar ini tidak ditujukan agar kekuatan beton inti diatur sesuai umurbeton inti.
e) Pengujian tambahan untuk beton inti yang diambil dari lokasi yang memperlihatkan kekuatan tekan beton inti yang tidak stabil diperbolehkan. f) Jika kriteria evaluasi berdasarkan kekuatan tekan beton inti tidak dipenuhi, maka struktur belum bisa dianggap aman. Pihak berwenang diperbolehkan melakukan evaluasi kekuatan sesuai dengan Pasal 27 untuk tindakan lebih lanjut.	
26.12.5 *Kriteria penerimaan beton bertulangan serat* **26.12.5.1** Syarat penerimaan: a) Beton bertulangan serat yang digunakan untuk menahan geser harus memenuhi ketentuan 1) hingga 3): 1) Kriteria penerimaan kekuatan tekan untuk spesimen dengan perawatan standar; 2) Nilai kekuatan residu dari uji lentur sesuai ASTM C1069M pada lendutan di tengah bentang sebasar	**R26.12.5** *Kriteria penerimaan beton bertulangan serat* - Kriteria penerimaan untuk pengujian ASTM C1609M diambil berdasarkan hasil uji lentur (Chen et al. 1995) yang dilakukan pada beton bertulangan serat yang terbuat dari material yang sama pada uji balok di 9.6.3.1. Istilah “kekuatan residu” dijelaskan dalam ASTM C1609M dan berhubungan dengan kemampuan beton bertulangan seratr menahan gaya tarik. Nilai $0{,}62\sqrt{f_c'}$ konsisten dengan modulus runtuh beton pada Pers. (19.2.3.1).

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
1/300 panjang bentang minimal lebih besar dari i) dan ii): i) 90 persen dari kekuatan lentur puncak pertama (ii) 90 persen kekuatan terkait dengan **0,62** $\sqrt{f_c'}$ 3) Nilai kekuatan residu dari uji lentur sesuai ASTM C1069M pada lendutan di tengah bentang dari 1/150 panjang bentang minimal lebih besar dari i) dan ii): i) 75 persen dari kekuatan lentur puncak pertama ii) 75 persen kekuatan terkait dengan **0,62** $\sqrt{f_c'}$	
26.13 - Inspeksi **26.13.1** *Umum*	**R26.13 - Inspeksi** **R26.13.1** *Umum* - Kualitas struktur beton sangat tergantung dari metode pekerjaan dalam konstruksi. Meskipun menggunakan material terbaik serta desain sedemikian rupa, tetap percuma apabila metode pekerjaan tidak dilakukan dengan baik. Inspeksi diperlukan untuk memastikan konstruksi dilakukan sesuai ketentuan yang tercantum dalam dokumen konstruksi. Kinerja struktur yang baiktergantung dari konstruksi dan keakuratan dalam desain dan pemenuhan persyaratan standar.
26.13.1.1 Pemeriksaan dalam tahap konstruksi dilakukan sesuai peraturan umum bangunan yang diterapkan.	
26.13.1.2 Dengan tidak adanya standar peraturan pemeriksaan untuk konstruksi bangunan, maka pemeriksaan harus dilakukan oleh perencana ahli bersertifikat atau inspektur bersertifikat.	**R26.13.1.2** Perencana ahli bersertifikat yang membuat desain adalah pihak yang paling tepat untuk menentukan apakah konstruksi berjalan sesuai dengan dokumen konstruksi. Namun apabila yang bersangkutan tidak bersedia, maka inspeksi dapat dilakukan oleh pihak lain dari institusi resmi yang mempunyai kemampuan inspeksi konstruksi. Inspektur yang bertanggung jawab harus mempunyai sertifikasi *ACI Inspector Certification Program: Concrete Construction Special Inspector,* atau program yang setara untuk menginspeksi dan mencatat segala proses konstruksi, termasuk proses pra-penempatan, penempatan, dan pasca-penempatan. Ketika inspeksi dilakukan secara independen oleh perencana ahli bersertifikat yang bertanggung jawab terhadap desain, disarankan perencana ahli bersertifikat yang bertanggung jawab terhadap desain untuk tetap mengawasi pekerjaan inspeksi serta memastikan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	persyaratan konstruksi dipenuhi. Dalam beberapa hukum konstruksi, ada beberapa aturan yang menetapkan prosedur pendaftaran atau lisensi inspekstor. Untuk beberapa aturan spesifik, standar yang digunakan dalam membangun gedung harus dikonsultasikan ke pihak peninjau konstruksi. Laporan inspeksi harus diserahkan ke pemilik proyek, kontraktor, subkontraktor, *supplier*, dan pihak berwenang untuk secara teratur mengidentifikasi atau kebutuhan aksi perbaikan. Tanggung jawab inspeksi dan tingkat inspeksi yang disyaratkan harus ditetapkan dalam kontrak antara pemilik, arsitek, insinyur, kontraktor dan inspektor. Sumberdaya yang cukup harus disediakan untuk melaksanakan inspeksi.
26.13.1.3 Perencana ahli bersertifikat, atau seseorang dalam pengawasan perencana ahli bersertifikat, atau inspektur yang berkualifikasi wajib mengikuti ketentuan dalam dokumen konstruksi.	**R26.13.1.3** Dalam standar ini, inspektur tidak dimaksudkan untuk mengawasi proses konstruksi sehari-harinya. Yang dimaksud adalah orang yang bertanggung jawab dalam inspeksi harus mengunjungi proyek dalam frekuensi yang cukup sering untuk memastikan proses konstruksi berjalan sesuai dokumen konstruksi. Dengan adanya inspeksi bukan berarti kontraktor menjadi bebas dari tangungjawab untuk mengikuti dokumen konstruksi. Kontraktor tetap harus menyiapkan material dan sumber daya manusia dengan kualitis dan kuantitas yang cukup untuk semua tahapan konstruksi. Dalam standar ini tercantum persyaratan minimum untuk inspeksi semua jenis struktur sesuai lingkupnya. Ini bukanlah spesifikasi konstruksi dan setiap pengguna standar ini meungkin membutuhkan standar inspeksi yang lebih tinggi dari yang ada dalam peraturan umum bangunan bila persyaratan tambahan dibutuhkan. Prosedur organisasi yang direkomendasikan dan inspeksi bangunan diberikan dalam ACI 311.4R, "*Guide for Concrete Inspection*". Dokumen ini merupakan petunjuk untuk arsitek, pemilik proyek, dan perencana yang sedang menyusun program inspeksi. Metode detail untuk inspeksi konstruksi terdapat dalam ACI SP-2, "*Manual for Concrete Inspection*" oleh ACI Committee 311.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	Dokumen ini menggambarkan metode inspeksi yang umum digunakan.
26.13.1.4 Untuk pemeriksaan berkelanjutan pada sistem rangka pemikul momen khusus, pemeriksaan penempatan tulangan dan beton dilakukan oleh inspektur bersertifikat dalam pengawasan perencana ahli bersertifikat yang bertanggung jawab terhadap desain struktur atau dalam pengawasan perencana ahli bersertifikat yang memiliki kapabilitas untuk melakukan inspeksi.	**R26.13.1.4** Tujuan persyaratan ini adalah untuk memastikan pemasangan pendetailan pada sistem rangka pemikul momen khusus diinspeksi oleh pihak yang berkualifikasi dan pendetailan terpasang dengan baik. Kualifikasi inspektur harus sesuai dengan hukum yang mengatur peraturan umum bangunan.
26.13.2 *Laporan inspeksi*	**R26.13.2** *Laporan inspeksi*
26.13.2.1 Laporan inspeksi harus mencatat elemen yang diperiksa pada tiap tahap konstruksi oleh pihak yang melaksanakan pemeriksaan. Catatan pemeriksaan harus disimpan oleh pihak yang melaksanakan pemeriksaan setidaknya 2 tahun setelah selesainya proyek.	**R26.13.2.1** Catatan inspeksi diperlukan seandainya timbul pertanyaan mengenai kinerja atau keamanan komponen struktur atau struktur. Dokumentasi berupa foto yang mendokumentasikan progress konstruksi disarankan. Peraturan umum bangunan atau persyaratan legal lainnya mungkin mensyaratkan catatan inspeksi disimpan lebih dari 2 tahun.
26.13.2.2 Laporan pemeriksaan harus mencantumkan ketentuan a) hingga d): a) Kemajuan umum tahapan konstruksi. b) Beban konstruksi yang signifikan pada lantai, komponen atau dinding c) Waktu dan tanggal pencampuran, kuantitas, proporsi material yang digunakan, lokasi penempatan struktur, dan hasil pengujian beton segar dan beton keras untuk semua campuran beton yang digunakan. d) Suhu beton dan lapis perlindungan pada beton saat pengecoran dan perawatan ketika suhu lingkungan (*ambient temperature*) berada di bawah 4°C atau di atas 35°C.	**R26.13.2.2 d)** Istilah “suhu lingkungan” artinya suhu di lingkungan proyek. Suhu beton yang dimaksud disini adalah suhu permukaan beton. Suhu permukaan diukur dengan menempatkan sensor suhu langsung ke permukaan beton atau antara permukaan dan selimut beton yang digunakan saat perawatan, seperti selimut insulasi atau lapis plastik.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
26.13.2.3 Hasil pengujian harus memenuhi 20.2.2.5 jika tulangan ulir ASTM A615M digunakan untuk menahan lentur akibat gempa, gaya aksial, atau keduanya dalam sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus dan komponen dari dinding struktural khusus meliputi balok kopel dan pilar dinding.	
26.13.3 *Perihal yang perlu diinspeksi*	**R26.13.3** *Perihal yang perlu diinspeksi*
26.13.3.1 Perihal yang memerlukan pemeriksaan berkala atau berkelanjutan harus memenuhi 26.13.3.2 dan 26.13.3.3, kecuali ada ketentuan lain dalam peraturan umum bangunan.	**R26.13.3.1** Tabel 1705 pada Bab 17 pada 2012 IBC dapat digunakan untuk menentukan perihal apa yang membutuhkan inspeksi berkala dan berkelanjutan.
26.13.3.2 Perihal yang memerlukan pemeriksaan berkelanjutan termasuk dalam ketentuan a) hingga d): a) Pengecoran beton. b) Penarikan baja prategang dan *grouting* tendon terlekat. c) Pemasangan angkur adhesif dengan orientasi horizontal atau miring ke atas untuk menahan beban tarik berkelanjutan sesuai 17.8.2.4, serta dimana kondisi angkur disyaratkan sesuai ACI 355.4. d) Penulangan untuk sistem rangka pemikul momen khusus.	
26.13.3.3 Perihal yang memerlukan pemeriksaan berkala termasuk dalam ketentuan a) hingga g): a) Penempatan tulangan, penanaman, dan tendon pascatarik. b) Metode dan durasi perawatan tiap komponen. c) Konstruksi serta pelepasan bekisting dan perancah. d) Urutan pekerjaan ereksi dan sambungan komponen pracetak.	**R26.13.3.3 d)** Beberapa aturan menyatakan urutan pekerjaan ereksi dan sambungan komponen pracetak memerlukan inspeksi berkelanjutan dan membutuhkan pelaksanaan inspeksi pada perancah, bresing, dan elemen sementara lainnya

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
e) Verifikasi kekuatan beton yang diuji di lapangan sebelum pemberian tegangan pada tulangan pascatarik, serta sebelum dilepasnya perancah dan bekisting dari balok dan pelat. f) Pemasangan angkur tanam cor di tempat, angkur ekspansi, dan angkur ujung diperlebar sesuai 17.8.2. g) Pemasangan angkur adhesif dimana pemeriksaan berkelanjutan tidak dibutuhkan sesuai dengan 17.8.2.4 atau penilaian sesuai dengan ACI 355.4.	**R26.13.3.3 g)** Persyaratan inspeksi untuk angkur adhesif diambil dari tiga sumber: a) peraturan umum bangunan, yang membutuhkan inspeksi berkala untuk angkur dalam beton; b) penilaian dan kualifikasi angkur sesuai ketentuan ACI 355.4 yang membutuhkan inspeksi berkala atau inspeksi berkelanjutan dengan uji beban tergantung faktor reduksi kekuatan pada angkur; c) Persyaratan 17.8, yang mewajibkan inspeksi berkelanjutan untuk angkur yang menahan beban tarik tetap pada orientasi spesifik.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN

PASAL 27 – EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR EKSISTING

27.1 - Ruang lingkup

27.1.1 Ketentuan dalam pasal ini berlaku untuk evaluasi kekuatan struktur eksisting dengan cara analisis atau cara uji beban.

R27.1 - Ruang lingkup

R27.1.1 Ketentuan dalam pasal ini dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah keseluruhan ataupun sebagian struktur memenuhi persyaratan standar keamanan. Evaluasi kekuatan diperlukan jika material dianggap kurang berkualitas, jika ada bukti yang menunjukkan terjadi kesalahan dalam konstruksi, jika bangunan akan digunakan untuk fungsi baru, atau jika, karena alasan apapun keseluruhan atau sebagian struktur tampaknya tidak memenuhi persyaratan standar. Dalam kasus tersebut, pasal ini memberikan panduan untuk menyelidiki keamanan struktur. Pasal ini tidak mencakup pengujian beban untuk persetujuan desain atau metode konstruksi baru. Penerimaan terhadap material dan sistem alternatif tercakup dalam 1.10.

27.2 - Umum

27.2.1 Bila terdapat keraguan bahwa sebagian atau semua bagian struktur memenuhi persyaratan keamanan dari standar ini dan struktur masih digunakan, evaluasi kekuatan harus dilakukan sebagaimana disyaratkan oleh perencana ahli bersertifikat atau pihak berwenang.

R27.2 - Umum

R27.2.1 Jika uji beban dideskripsikan sebagai bagian dari proses evaluasi kekuatan, diharapkan semua pihak menyetujui lokasi pembebanan, besarnya beban, prosedur pengujian dan kriteria penerimaan sebelum segala uji beban dilakukan. Jika kekhawatiran keamanan terkait dengan sekumpulan komponen atau keseluruhan struktur, tidak memungkinkan untuk melakukan uji beban terhadap setiap komponen dan penampang. Dalam kasus tersebut, sangat tepat jika rencana penyelidikan dikembangkan untuk menentukan pertimbangan keamanan yang spesifik.

27.2.2 Bila pengaruh penurunan kekuatan dipahami dengan baik dan bila memungkinkan untuk mengukur dimensi dan properti material yang diperlukan untuk analisis, evaluasi kekuatan analitis berdasarkan informasi tersebut diizinkan. Data yang diperlukan harus ditentukan sesuai 27.3.

R27.2.2 Pertimbangan kekuatan yang terkait dengan beban aksial, lentur dan kombinasi beban aksial dan lentur dipahami dengan baik. Ada teori yang telah diterima terkait dengan kekuatan dan hubungan perpindahan-beban jangka pendek yang dipengaruhi dimensi dan sifat bahan. Untuk menentukan kekuatan struktur dengan cara analisis, perhitungan harus berdasarkan pada data yang

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

STANDAR	PENJELASAN
	dikumpulkan dari dimensi struktur sebenarnya, sifat bahan dan semua rincian terkait.
27.2.3 Bila pengaruh penurunan kekuatan tidak diketahui dengan baik atau tidak memungkinkan untuk mengukur dimensi dan menentukan properti material pada komponen yang diperlukan untuk analisis, maka uji beban diperlukan sesuai 27.4.	**R27.2.3** Jika kekuatan geser atau lekatan dari suatu bagian sangat penting kaitannya terhadap keraguan terhadap keamananan, pengujian mungkin merupakan solusi yang paling efisien untuk menghilangkan atau mengkonfirmasi keraguan tersebut. Pengujian diperlukan jika tidak memungkinkan untuk menentukan sifat material dan dimensi yang diperlukan untuk analisis. Bahkan jika penyebab kekhawatiran berhubungan dengan beban lentur dan aksial. Sedapat mungkin, hasil dari uji beban harus didukung oleh analisis.
27.2.4 Bila ketidakpastian terhadap kekuatan sebagian atau semua bagian struktur terkait penurunan kinerja, dan jika respons yang diamati selama uji beban memenuhi kriteria penerimaan 27.4.5, struktur atau bagian struktur boleh tetap digunakan dalam jangka waktu tertentu yang ditetapkan oleh perencana ahli bersertifikat. Jika dianggap perlu oleh perencana ahli bersertifikat, evaluasi ulang secara berkala harus dilakukan.	**R27.2.4** Untuk kerusakan struktur, penerimaan yang diberikan oleh uji beban, terbatas dalam hal beban layan di masa depan. Dalam kasus seperti itu, program pemeriksaan secara berkala sangat berguna. Sebuah program yang melibatkan uji fisik dan pemeriksaan berkala dapat memberikan justifikasi untuk durasi masa layan yang lebih lama. Pilihan lain untuk mempertahankan masa layan struktur, sementara program pemerikasaan berkala berlanjut adalah membatasi beban hidup ke tingkat yang sesuai. Durasi pemeriksaan berlaka didasarkan pada pertimbangan berikut: a) sifat kerusakan, b) efek lingkungan dan beban, c) riwayat masa layan struktur dan d) ruang lingkup pemeriksaan berkala. Pada periode waktu tertentu, evaluasi kekuatan lebih lanjut diperlukan jika struktur tersebut tetap difungsikan. Dengan persetujuan semua pihak, prosedur dapat dirancang untuk pengujian berkala yang tidak selalu harus mengikuti pembebanan dan kriteria penerimaan yang ditentukan dalam pasal ini.
27.3 - Evaluasi kekuatan dengan analisis	**R27.3 - Evaluasi kekuatan dengan analisis**
27.3.1 *Verifikasi kondisi terbangun (as-built)*	**R27.3.1** *Verifikasi kondisi terbangun (as-built)*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
27.3.1.1 Dimensi komponen struktur harus diukur pada penampang kritis.	**R27.3.1.1** Penampang kritis untuk efek beban yang berbeda seperti momen, gaya geser, gaya aksial adalah lokasi dimana tegangan yang disebabkan oleh efek beban tersebut mencapai nilai maksimumnya dan sebagaimana didefinisikan lebih lanjut untuk berbagai jenis komponen struktur dalam standar ini. Selain itu, penampang kritis bisa ditentukan melalui kondisi spesifik saat struktur dievaluasi. Contohnya lokasi kerusakan dapat menentukan penampang kritis.
27.3.1.2 Lokasi dan ukuran tulangan harus ditentukan dari hasil pengukuran. Penentuan lokasi tulangan diizinkan berdasarkan gambar-gambar yang tersedia asalkan gambar-gambar tersebut telah diverifikasi dengan melakukan pemeriksaan acak.	**R27.3.1.2** Jumlah, ukuran, pengaturan dan lokasi tulangan yang dirancang untuk menahan beban yang diterapkan harus ditentukan pada penampang kritis jika menyelidiki komponen individual. Metode penyelidikan tak merusak umumnya dapat diterima. Dalam struktur skala besar, penentuan data ini cukup berkisar 5 persen dari perkuatan di setiap wilayah kritis jika pengukuran ini mengkonfirmasi yang terdapat pada gambar yang tersedia.
27.3.1.3 Bila dibutuhkan, estimasi kekuatan beton ekuivalen f_c' harus berdasarkan pada hasil uji silinder dari struktur asli atau uji beton inti yang diambil dari bagian struktur dimana kekuatannya diragukan.	**R27.3.1.3** Komite ACI 214 telah mengembangkan dua metode untuk menentukan f_c' ekuivalen dari beton inti yang diambil dari struktur yang ada. Metode ini dijelaskan dalam ACI 214.4R dan bergantung pada teknik analisis statistik. Prosedur ini hanya sesuai jika penentuan f_c' ekuivalen diperlukan untuk evaluasi kekuatan dari struktur yang sudah ada dan tidak boleh digunakan untuk menyelidiki hasil uji kekuatan silinder pada kontruksi baru seperti yang dipertimbangkan dalam 26.12.4. Jumlah uji beton inti tergantung dari ukuran struktur dan sensitivitas keamanan struktural terhadap kekuatan beton. Panduan untuk memperkirakan f_c' ekuivalen dari data silinder asli dapat ditemukan pada Bartlett (2012). Dalam kasus yang kekurangan hanya melibatkan lentur saja, penyelidikan kekuatan beton menjadi minimal pada penampang yang bertulangan ringan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	$\frac{\rho f_y}{f_c'} \leq 0{,}15$ (untuk penampang persegi panjang).
27.3.1.4 Metode pengambilan dan uji beton inti harus sesuai ASTM C42M.	
27.3.1.5 Properti tulangan diperbolehkan berdasarkan hasil uji tarik sampel uji yang mewakili material struktur yang kekuatannya diragukan.	**R27.3.1.5** Jumlah uji tergantung pada keseragaman material dalam struktur dan harus ditentukan oleh oleh perencana ahli bersertifikat yang bertanggung jawab untuk evaluasi.
27.3.2 *Faktor reduksi kekuatan*	**R27.3.2** *Faktor reduksi kekuatan*
27.3.2.1 Bila dimensi, ukuran, lokasi tulangan dan properti material ditentukan sesuai 27.3.1, ϕ boleh diperbesar dari nilai desain yang ditetapkan pada bagian lain dalam standar ini, tetapi ϕ tidak boleh lebih besar dari ketentuan Tabel 27.3.2.1.	**R27.3.2.1** Faktor reduksi kekuatan lebih besar dari yang didefinisikan pada Pasal 21. Peningkatan ini dibenarkan dengan adanya penggunaan properti material yang diperoleh dari lapangan, dan dimensi sebenarnya di lokasi.

Tabel 27.3.2.1 – Faktor reduksi kekuatan maksimum yang diizinkan

Kekuatan	Klasifikasi	Tulangan transversal	Maksimum izin ϕ
Lentur, aksial, atau keduanya	Terkontrol tarik	Semua kasus	1,0
	Terkontrol tekan	Spiral[1]	0,9
		Lainnya	0,8
Geser, torsi, atau keduanya			0,8
Tumpu			0,8

[1]Tulangan spiral harus memenuhi 10.7.6.3, 20.2.2 dan 25.7.3.

27.4 - Evaluasi kekuatan dengan uji beban	**R27.4 - Evaluasi kekuatan dengan uji beban**
27.4.1 *Umum*	
27.4.1.1 Uji beban harus dilakukan dengan cara sedemikian rupa sehingga memberikan keselamatan jiwa dan keamanan struktur selama pengujian.	
27.4.1.2 Tindakan pengamanan tidak boleh merubah beban uji dan mempengaruhi hasilnya.	
27.4.1.3 Bagian struktur yang diuji harus mempunyai umur paling sedikit 56 hari. Jika pemilik struktur, kontraktor, perencana ahli bersertifikat dan semua pihak lain yang terlibat setuju, dapat diizinkan untuk melakukan uji beban pada umur lebih awal.	

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
27.4.1.4. Komponen pracetak yang akan dibuat komposit dengan beton cor di tempat harus diuji lentur komponen pracetaknya saja sesuai a) dan b): a) Beban uji harus diterapkan hanya jika perhitungan mengindikasikan bahwa komponen pracetaknya saja tidak gagal tekan atau tekuk. b) Beban uji, jika diterapkan pada komponen pracetak saja, harus menimbulkan gaya total yang sama pada tulangan tarik yang dihasilkan komponen komposit dengan beban uji sesuai 27.4.2.	
27.4.2 *Pengaturan beban uji dan faktor beban*	**R27.4.2** *Pengaturan beban dan faktor beban*
27.4.2.1 Pengaturan beban uji harus dipilih untuk memaksimumkan defleksi, pengaruh beban dan tegangan pada daerah kritis dari komponen yang kekuatannya dievaluasi.	**R27.4.2.1.** Penting untuk menerapkan beban sedemikian rupa sehingga efek akibat kerusakan yang dicurigai adalah maksimum dan penerapan beban pada elemen minimum. Dalam kasus-kasus tertentu ditunjukkan dalam analisis bahwa komponen lain yang tidak dibebani yang bersebelahan akan membantu memikul sebagian beban, beban uji harus diatur untuk memastikan beban yang cukup bekerja pada bagian kritis yang dievaluasi.
27.4.2.2 Beban uji total T_t, termasuk beban mati yang sudah bekerja, harus sekurang-kurangnya yang terbesar dari a), b), dan c): a) $T_t = 1{,}15D + 1{,}5L + 0{,}4(L_r \text{ atau } R)$ (27.4.2.2a) b) $T_t = 1{,}15D + 0{,}9L + 1{,}5(L_r \text{ atau } R)$ (27.4.2.2b) c) $T_t = 1{,}3D$ (27.4.2.2c)	
27.4.2.3 L pada 27.4.2.2. diizinkan untuk dikurangi sesuai dengan SNI 1727.	**R27.4.2.3** Beban hidup L dapat dikurangi sebagaimana diizinkan oleh peraturan umum bangunan, yang mengatur keamanan struktur. Beban uji harus ditingkatkan untuk mengimbangi perlawanan oleh bagian yang tidak dibebani. Peningkatan beban uji ditentukan dari analisis kondisi pembebanan sehubungan dengan

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	kriteria lulus/gagal yang dipilih untuk pengujian.
27.4.2.4 Faktor beban pada beban hidup L dalam 27.4.2.2b) diizinkan dikurangi menjadi 0,45, kecuali untuk garasi, daerah yang dihuni sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua daerah dimana L lebih besar dari 4,8 kN/m^2.	
27.4.3 *Penerapan beban uji*	**R27.4.3** *Penerapan beban uji*
27.4.3.1 Beban uji T_t harus diterapkan sekurang-kurangnya empat tahap peningkatan beban yang sama.	**R27.4.3.1** Disarankan agar dilakukan pemeriksaan bagian struktur yang diuji beban untuk memberikan catatan-catatan atau tanda berbahaya pada setiap kenaikan beban (lihat R27.4.5.1).
27.4.3.2 Beban uji merata T_t harus diterapkan sedemikian rupa untuk memastikan beban terdistribusi merata pada struktur atau bagian struktur yang diuji. Pelengkungan beban uji harus dihindari.	**R27.4.3.2** Pelengkungan mengacu pada kecenderungan beban terjadi tidak merata pada komponen lentur yang diuji. Sebagai contoh, jika sebuah pelat dibebani oleh susunan batu bata yang seragam, pelengkungan akibat batu bata yang saling bersentuhan menghasilkan pengurangan beban di dekat bagian tengah pelat.
27.4.3.3 Setelah peningkatan beban akhir diterapkan, beban T_t dipertahankan pada struktur selama paling sedikit 24 jam dengan melakukan pengamatan tanda-tanda kegagalan seperti 27.4.5 teramati.	
27.4.3.4 Setelah semua pengukuran respons direkam, beban uji harus segera dihilangkan.	
27.4.4 *Pengukuran respons*	
27.4.4.1 Pengukuran respons, seperti defleksi, regangan, slip dan lebar retak harus dilakukan pada lokasi dimana respons maksimum diharapkan. Pengukuran tambahan harus dilakukan bila diperlukan.	
27.4.4.2 Nilai awal untuk semua pengukuran respons harus diperoleh tidak lebih dari 1 jam sebelum penerapan peningkatan beban pertama.	
27.4.4.3 Kumpulan data pengukuran respons harus direkam setelah setiap peningkatan beban diterapkan dan setelah T_t	

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
diterapkan pada struktur sekurang-kurangnya 24 jam.	
27.4.4.4 Kumpulan data pengukuran respons akhir harus dibuat 24 jam setelah T_t dihilangkan.	
27.4.5 *Kriteria penerimaan*	**R27.4.5** *Kriteria penerimaan*
27.4.5.1 Bagian struktur yang diuji harus menunjukkan tidak ada beton terkelupas atau pecah, atau indikasi lain kegagalan.	**R27.4.5.1** Bukti kegagalan termasuk kerusakan (retak, pengelupasan atau lendutan) sampai pada suatu besaran dan tingkatan yang mana hasil yang diamati adalah jelas berlebihan dan tidak sesuai dengan persyaratan keamanan struktur. Tidak ada aturan sederhana yang telah dikembangkan dan diaplikasikan untuk semua jenis struktur dan kondisi. Jika kerusakan yang cukup telah terjadi sehingga struktur dianggap telah gagal akibat pengujian, pengujian ulang tidak diizinkan karena dianggap bahwa komponen yang telah rusak tidak boleh dimasukkan ke dalam kondisi layan meskipun pada peringkat beban yang lebih rendah. *Spalling* atau pengelupasan lokal pada beton tertekan dari komponen lentur yang terkait ketidaksempurnaan cetakan bukan merupakan indikasi kerusakan struktural secara keseluruhan. Lebar retak merupakan indikator yang baik yang mencerminkan keadaan struktur dan harus diamati untuk membantu penetapan apakah kekuatan dan perilaku struktural memuaskan. Namun, prediksi atau pengukuran lebar retak yang akurat pada komponen beton tidak mudah dilaksanakan di lapangan. Dianjurkan untuk menetapkan kriteria sebelum uji beban terhadap jenis retak yang diantisipasi; di mana retak diukur; bagaimana metode pengukurannya; dan batasan atau kriteria untuk mengevaluasi retak yang muncul atau batasan perubahan lebar retak.
27.4.5.2 Komponen yang diuji tidak boleh menunjukan retak awal kegagalan geser.	**R27.4.5.2** Gaya-gaya ditransmisikan di seluruh bidang retak oleh penguncian agregat (*aggregate interlock*) antar permukaan retak yang ditingkatkan dengan aksi penjepitan dari tulangan transversal dan aksi dowel dari sengkang memotong retak. Komponen

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
	diasumsikan mencapai kegagalan geser ketika panjang retak meningkat mencapai proyeksi horizontal yang sama dengan tebal komponen dan secara bersamaan retak melebar sehingga penguncian agregat tidak dapat terjadi, dan sengkang (jika ada) mulai leleh atau kehilangan pengangkuran yang mengancam integritas.
27.4.5.3 Pada daerah komponen struktur tanpa tulangan transversal, munculnya retak struktur yang membentuk sudut terhadap sumbu longitudinal dan mempunyai proyeksi horizontal yang lebih panjang dari ketebalan komponen struktur harus dievaluasi. Untuk komponen struktur dengan tebal bervariasi, ketebalan harus diukur di titik tengah panjang retak miring.	**R27.4.5.3** Retak miring cenderung menyebabkan kegagalan getas pada komponen struktur tanpa tulangan trasversal. Penilaian semua retak miring disarankan untuk komponen tanpa tulangan transversal.
27.4.5.4 Pada daerah pengangkuran dan sambungan lewatan tulangan, retak pendek miring atau retak horizontal disepanjang garis tulangan harus dievaluasi.	**R27.4.5.4** Retak sepanjang sumbu tulangan di zona pengangkuran kemungkinan sebagai indikasi tegangan tekan tinggi yang terkait dengan transfer gaya antara tulangan dan beton. Retak-retak ini bisa menjadi indikator kegagalan getas komponen struktur bila terkait dengan penyaluran tulangan utamanya. Penting bahwa penyebabnya dan akibatnya perlu dievaluasi.
27.4.5.5 Lendutan yang diukur harus memenuhi a) atau b): a) $\Delta_1 \le \frac{\ell_t^2}{20000h}$ (27.4.5.5a) b) $\Delta_r \le \frac{\Delta_1}{4}$ (27.4.5.5b)	**R27.4.5.5** Jika struktur tidak menunjukkan terjadinya kegagalan, pemulihan defleksi setelah penghilangan beban uji digunakan untuk menentukan, apakah kekuatan struktur terpenuhi. Dalam hal struktur sangat kaku, tidak perlu dilakukan pengukuran pemulihan, jika defleksi maksimum kurang dari $\ell_t^2/(20000h)$.
27.4.5.6 Jika 27.4.5.5 tidak dipenuhi, Uji beban harus diulang, uji beban yang kedua harus dilakukan paling cepat 72 jam setelah pelepasan beban uji pertama.	
27.4.5.7 Bagian struktur yang diuji pada uji beban kedua harus dianggap memenuhi persyaratan jika: $\Delta_r \le \frac{\Delta_2}{5}$ (27.4.5.7)	
27.5 - Tingkat beban tereduksi	**R27.5 - Tingkat beban tereduksi**
27.5.1 *Ketentuan untuk tingkat beban yang lebih rendah* - Bila struktur yang diteliti tidak	**R27.5.1** *Ketentuan untuk tingkat beban yang lebih rendah* - Kecuali untuk

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

STANDAR	PENJELASAN
memenuhi kondisi atau kriteria dari 27.3 atau 27.4.5, struktur diizinkan untuk digunakan pada tingkat beban yang lebih rendah berdasarkan pada hasil uji beban atau analisis, jika disetujui oleh pihak berwenang.	komponen yang diuji beban telah gagal dalam pengujian (lihat 27.4.5), pihak berwenang dapat mengizinkan penggunaan struktur atau komponen struktur pada tingkat beban yang lebih rendah yang dinilai aman berdasarkan evaluasi kekuatan.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

BIBLIOGRAFI/REFERENSI PENJELASAN

Referensi ACI dan dokumen yang dipublikasi oleh organisasi selain ACI yang disitasi dalam penjelasan Standar ini, diurutkan dengan nomor dokumen atau referensi, tahun publikasi, dan judul lengkap, diikuti dengan dokumen yang diurutkan berdasarkan abjad.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

LRFDCONS-3-2010—LRFD Bridge Construction Specifications, Third Edition

LRFDUS-6-2012—LRFD Bridge Design Specifications, Sixth Edition

American Concrete Institute (ACI)

117-10—Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials

201.2R-08—Guide to Durable Concrete

209R-92(08)—Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures

211.1-91(09)—Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete

213R-03—Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete

214R-11—Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete

214.4R-10—Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results

215R-92(97)—Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading

216.1-07—Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies

222R-01—Protection of Metals in Concrete against Corrosion

223R-10—Guide for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete

228.1R-03—In-Place Methods to Estimate Concrete Strength

233R-03—Slag Cement in Concrete and Mortar

234R-06—Guide for the Use of Silica Fume in Concrete

301-10—Specifications for Structural Concrete

304R-00(09)—Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete

305.1-06—Specification for Hot Weather Concreting

305R-10—Guide to Hot Weather Concreting

306R-10—Guide to Cold Weather Concreting

306.1-90(02)—Standard Specification for Cold Weather Concreting

307-08—Code Requirements for Reinforced Concrete Chimneys (ACI 307-08) and Commentary

308R-01(08)—Guide to Curing Concrete

309R-05—Guide for Consolidation of Concrete

311.4R-05—Guide for Concrete Inspection

311.6-09—Specification for Ready Mixed Concrete Testing Services

313-97—Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials

318-63—Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete

318-11—Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary

318.2-14—Building Code Requirements for Concrete Thin Shells (ACI 318.2-14) and Commentary

332-14—Requirements for Residential Concrete Construction (ACI 332-14) and Commentary

334.1R-92(02)—Concrete Shell Structures – Practice and Commentary

334.2R-91—Reinforced Concrete Cooling Tower Shells – Practice and Commentary

336.2R-88—Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats

336.3R-93(06)—Design and Construction of Drilled Piers

347-04—Guide to Formwork for Concrete

© BSN 2019

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

237R-07—Self-Consolidating Concrete

349-06—Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary

350-06—Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-06) and Commentary

352R-02—Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures

352.1R-11—Guide for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Concrete Structures

355.2-07—Qualifications of Post Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary

355.4-11—Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete (ACI 355.4-11) and Commentary

359-13—Code for Concrete Containments

360R-10—Guide to Design of Slabs-on-Ground

362.1R-97(02)—Guide for the Design of Durable Parking Structures

372R-13—Guide to Design and Construction of Circular Wire- and Strand-Wrapped Prestressed Concrete Structures

374.1-05—Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary

408.1R-90—Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension

408.2R-12—Report on Bond of Steel Reinforcing Bars Under Cyclic Loads

421.1R-08—Guide to Shear Reinforcement for Slabs

423.3R-05—Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons

423.7-14—Specification for Unbonded Single-Strand Tendon Materials

435R-95(00)—Control of Deflection in Concrete Structures

435.5R-73(89)—Deflections of Continuous Concrete Beams

440.1R-06—Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars

American Society of Civil Engineers (ASCE)

347.2R-05—Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings

440.2R-08—Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

445R-99(09)—Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete

543R-00—Guide to Design, Manufacture, and Installation of Concrete Piles

544.3R-08—Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete

550.3-13—Design Specification for Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Special Moment Frames Satisfying ACI 374.1 (ACI 550.3-13) and Commentary

551.2R-10—Design Guide for Tilt-Up Concrete Panels

CT-13—Concrete Terminology

ITG-5.1-07—Acceptance Criteria for Special Unbonded Post-Tensioned Precast Structural Walls Based on Validation Testing and Commentary

ITG-5.2-09—Requirements for Design of a Special Unbonded Post-Tensioned Precast Shear Wall Satisfying

ACI ITG-5.1 (ACI 5.2-09) and Commentary

ITG 7-09—Specification for Tolerances for Precast Concrete

SP-2(07)—Manual of Concrete Inspection, Tenth Edition

SP-4(05)—Formwork for Concrete, Seventh Edition

SP-17(09)—ACI Design Handbook

SP-66(04)—ACI Detailing Manual

American Institute of Steel Construction (AISC)

341-10—Seismic Provisions for Structural Steel Buildings

360-10—Specification for Structural Steel Buildings

American Iron and Steel Institute (AISI)

D100-08—Cold-Formed Steel Design Manual

S100-07—North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members

A775/A775M-07b(2014)—Standard Specification for Epoxy-Coated Steel

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

7-10—Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

American Society of Mechanical Engineers (ASME)

B1.1-03—Unified Inch Screw Threads (UN and UNRThread Form)

B18.2.1-96—Square and Hex Bolts and Screws, Inch Series

B18.2.6-96—Fasteners for Use in Structural Applications

B31.1-92—Power Piping

B31.3-90—Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping

American Welding Society (AWS)

D1.1/D1.1M:2010—Structural Welding Code – Steel

D1.4/D1.4M:2005—Structural Welding Code – Reinforcing Steel

ASTM International

A36/A36M-12—Standard Specification for Carbon Structural Steel

A307-12—Standard Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60000 PSI Tensile Strength

A370-14—Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A416/A416M-12a—Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete

A421/A421M-10—Standard Specification for Uncoated Stress-Relieved Steel Wire for Prestressed Concrete, including Supplementary Requirement SI, Low-Relaxation Wire and Relaxation Testomg

A615/A615M-14—Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement

A706/A706M-14—Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement

A767/A767M-09—Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement

C42/C42M-13—Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C94/C94M-14—Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

C150/C150M-12—Standard Specification for Portland Cement

Reinforcing Bars

A934/A934M-13—Standard Specification for Epoxy-Coated Prefabricated Steel Reinforcing Bars

A955/A955M-14—Standard Specification for Deformed and Plain Stainless-Steel Bars for Concrete Reinforcement

A970/A970M-13a—Standard Specification for Headed Steel Bars for Concrete Reinforcement, including Annex A1 Requirements for Class HA Head Dimensions

A996/A996M-14—Standard Specification for Rail-Steel and Axle-Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement

A1022/A1022M-14—Standard Specification for Deformed and Plain Stainless-Steel Wire and Welded Wire for Concrete Reinforcement

A1035/A1035M-14—Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement

A1044/A1044M-05(2010)—Standard Specification for Steel Stud Assemblies for Shear Reinforcement of Concrete

A1055/A1055M-10ε1—Standard Specification for Zinc and Epoxy Dual-Coated Steel Reinforcing Bars

A1064/A1064M-13—Standard Specification for Carbon-Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete

A1077/A1077M-12—Standard Specification for Structural Steel with Improved Yield Strength at High Temperature for Use in Buildings

C31/C31M-12—Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C33/C33M-13—Standard Specification for Concrete Aggregates

C39/C39M-14a—Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

C989/C989M-13—Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars

C1012/C1012M-13—Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

C172/C172M-14—Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete
C173/C173M-14—Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method
C231/C231M-14—Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
C330/C330M-14—Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
C469/C469M-10—Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression
C494/C494M-13—Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
C567/567M-14—Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete
C595/C595M-14—Standard Specification for Blended Hydraulic Cements
C618-12a—Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
C685/C685M-11—Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing
C803/803M-03(2010)—Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete
C805/C805M-08—Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete
C845/C845M-12—Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement
C873/873CM-10a—Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds
C900-06—Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete
P751-12—NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples (2009 edition)

International Code Council (ICC)
2012 IBC—International Building Code

National Fire Protection Association (NFPA)
C1017/C1017M-13—Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete
C1074-11—Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method
C1077-14—Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation
C1157/C1157M-11—Standard Performance Specification for Hydraulic Cement
C1202-10—Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration
C1218/C1218M-99(2008)—Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete
C1240-14—Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
C1602/C1602M-12—Standard Specification for Mixing Water Used in Production of Hydraulic Cement Concrete
C1609/C1609M-12—Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
D3665-07$^{\varepsilon 1}$—Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials
F1554-07a$^{\varepsilon 1}$—Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength

Federal Emergency Management Agency (FEMA)
P749-10—Earthquake-Resistant Design Concepts: An Introduction to the NEHRP Recommended Provisions Seismic Provisions
P750-10—NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (2009 edition)
revised Aug. 2012, ICC-ES Evaluation Service, LLC, Whittier, CA.
ACI Committee 318, 1999, "Closure to Public Comments on ACI 318-99," *Concrete International*, V. 21, No. 5, May, pp. 318-1 to 318-50.
ACI Committee 408, 1966, "Bond Stress—The State of the Art," *ACI Journal Proceedings*, V. 63, No. 11, Nov., pp. 1161-1188.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

5000-2012—Building Construction Safety

Code Portland Cement Association (PCA)

EB001.15-11—Design and Control of Concrete Mixtures, 15th edition

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)

MNL 116-99—Manual for Quality Control for Plants and Production of Structural Precast Concrete Products

MNL 117-13—Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete Products

MNL 120-10—PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, Seventh Edition

MNL 123-88—Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete

Post-Tensioning Institute (PTI)

DC10.5-12—Standard Requirements for Design and Analysis of Shallow Post-Tensioned Concrete Foundations of Expansive Soils

DC20.8-04—Design of Post-Tensioned Slabs Using Unbonded Tendons

M50.3-12—Guide Specification for Grouted Post-Tensioning

M55.1-12—Specification for Grouting of Post-Tensioned Structures

TAB.1-06—Post-Tensioning Manual, Sixth Edition

Steel Deck Institute (SDI)

C-2011—Standard for Composite Steel Floor Deck – Slabs

NC-2010—Standard for Non-Composite Steel Floor

Authored documents

AC303, 2011, “Acceptance Criteria for Post-Tensioning Anchorages and Couplers of Prestressed Concrete,” Apr. 2011, editorially

ACI Committee 435, 1966, “Deflections of Reinforced Concrete Flexural Members (ACI 435.2R-66),” *ACI Journal Proceedings*, V. 63, No. 6, June, pp. 637-674.

ACI Committee 435, 1978, “Proposed Revisions by Committee 435 to ACI Building Code and Commentary Provisions on Deflections,” *ACI Journal Proceedings*, V. 75, No. 6, June, pp. 229-238.

ACI Committee 435 Subcommittee 1, 1968, “Allowable Deflections (ACI 435.3R-68),” *ACI Journal Proceedings*, V. 65, No. 6, June, pp. 433-444.

ACI Committee 435 Subcommittee 5, 1963, “Deflections of Prestressed Concrete Members (ACI 435.1R-63),” *ACI Journal Proceedings*, V. 60, No. 12, Dec., pp. 1697-1728.

Adebar, P.; Kuchma, D.; and Collins, M. P., 1990, “Strutand-Tie Models for the Design of Pile Caps: An Experimental Study,” *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 1, Jan.- Feb., pp. 81-92.

Anderson, A. R., 1978, “Shear Strength of Hollow Core Members,” *Technical Bulletin* 78-81, Concrete Technology Associates, Tacoma, WA, Apr., 33 pp.

Anderson, N. S., and Meinheit, D. F., 2005, “Pryout Capacity of Cast-In Headed Stud Anchors,” *PCI Journal*, V. 50, No. 2, Mar.-Apr., pp. 90-112.

Anderson, N. S., and Meinheit, D. F., 2007, “A Review of Headed Stud Design Criteria,” *PCI Journal*, V. 52, No. 1, Jan.-Feb., pp. 82-100.

Anderson, N. S., and Ramirez, J. A., 1989, “Detailing of Stirrup Reinforcement,” *ACI Structural Journal*, V. 86, No.5, Sept.-Oct., pp. 507-515.

Barney, G. B.; Shiu, K. N.; Rabbat, B. G.; Fiorato, A. E.; Russell, H. G.; and Corley, W. G., 1980, “Behavior of Coupling Beams under Load Reversals (RD068.01B),” Portland Cement Association, Skokie, IL.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Angelakos, D.; Bentz, E. C.; and Collins, M. D., 2001, "Effect of Concrete Strength and Minimum Stirrups on Shear Strength of Large Members," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 3, May-June, pp. 290-300.

ASCE Joint Committee, 1940, "Recommended Practice and Standard Specification for Concrete and Reinforced Concrete," *Proceedings*, ASCE, V. 66, No. 6, Part 2, June, 81 pp.

Asmus, J., 1999, "Verhalten von Befestigungen bei der Versagensart Spalten des Betons (Behavior of Fastenings with the Failure Mode Splitting of Concrete)," dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany.

Athey, J. W., ed., 1982, "Test Report on Slender Walls," Southern California Chapter of the American Concrete Institute and Structural Engineers Association of Southern California, Los Angeles, CA, 129 pp.

Azizinamini, A.; Chisala, M.; and Ghosh, S. K., 1995, "Tension Development Length of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," *Engineering Structures*, V. 17, No. 7, pp. 512-522. doi: 10.1016/0141-0296(95)00096-P

Azizinamini, A.; Pavel, R.; Hatfield, E.; and Ghosh, S. K., 1999a, "Behavior of Spliced Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 5, Sept.-Oct., pp. 826-835.

Azizinamini, A.; Darwin, D.; Eligehausen, R.; Pavel, R.; and Ghosh, S. K., 1999b, "Proposed Modifications to ACI 318-95 Development and Splice Provisions for High Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 6, Nov.-Dec., pp. 922-926.

Barda, F.; Hanson, J. M.; and Corley, W. G., 1977, "Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements," *Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones*, SP-53, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 149-202.

Barney, G. B.; Corley, W. G.; Hanson, J. M.; and Parmelee, R. A., 1977, "Behavior and Design of Prestressed Concrete Beams with Large Web Openings," *PCI Journal*, V. 22, No.6, Nov.-Dec., pp. 32-61.

Bartlett, F. M., 2012, "Using Historical Cylinder Data for Structural Evaluation," *Andy Scanlon Symposium on Serviceability and Safety of Concrete Structures: From Research to Practice*, SP-284, P. H. Bischoff, E. Musselman, S. Gross, and H. Nassif, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 12 pp. (CD-ROM)

Bartlett, M. F., and MacGregor, J. G., 1994, "Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths," *ACI Materials Journal*, V. 91, No. 3, May-June, pp. 227-236.

Bartoletti, S. J., and Jirsa, J. O., 1995, "Effects of Epoxy-Coating on Anchorage and Development of Welded Wire Fabric," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 6, Nov.-Dec., pp. 757-764.

Base, G. D.; Reed, J. B.; Beeby, A. W.; and Taylor, H. P. J., 1966, "An Investigation of the Crack Control Characteristics of Various Types of Bar in Reinforced Concrete Beams," *Research Report* No. 18, Cement and Concrete Association, London, UK, Dec., 44 pp.

Becker, R. J., and Buettner, D. R., 1985, "Shear Tests of Extruded Hollow Core Slabs," *PCI Journal*, V. 30, No. 2, Mar.-Apr., pp. 40-54.

Beeby, A. W., 1979, "The Prediction of Crack Widths in Hardened Concrete," *The Structural Engineer*, V. 57A, No. 1, Jan., pp. 9-17.

Behera, U., and Rajagopalan, K. S., 1969, "Two-Piece U-Stirrups in Reinforced Concrete Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 66, No. 7, July, pp. 522-524.

Bianchini, A. C.; Woods, R. E.; and Kesler, C. E., 1960, "Effect of Floor Concrete Strength on Column Strength," *ACI Journal Proceedings*, V. 56, No. 11, May, pp. 1149-1169.

Deformation, Highway Research Record 324, Highway Research Board, pp. 15-43.

Breen, J. E.; Burdet, O.; Roberts, C.; Sanders, D.; Wollmann, G.; and Falconer, B., 1994, "Anchorage Zone Requirements for Post-Tensioned Concrete Girders," *NCHRP Report* 356, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Birkeland, P. W., and Birkeland, H. W., 1966, “Connections in Precast Concrete Construction,” *ACI Journal Proceedings*, V. 63, No. 3, Mar., pp. 345-368.

Black, W. C., 1973, “Field Corrections to Partially Embedded Reinforcing Bars,” *ACI Journal Proceedings*, V.70, No. 10, Oct., pp. 690-691.

Bloem, D. L., 1965, “Concrete Strength Measurement—Cores vs. Cylinders,” *Proceedings*, ASTM, V. 65, pp. 668-696.

Bloem, D. L., 1968, “Concrete Strength in Structures,” *ACI Journal Proceedings*, V. 65, No. 3, Mar., pp. 176-187.

Blume, J. A.; Newmark, N. M.; and Corning, L. H., 1961, *Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 318 pp.

BOCA, 1999, “BOCA National Building Code,” 13th edition, Building Officials and Code Administration International, Inc., Country Club Hills, IL.

Bondy, K. B., 2003, “Moment Redistribution: Principles and Practice Using ACI 318-02,” *PTI Journal*, V. 1, No. 1, Jan., pp. 3-21.

Branson, D. E., 1965, “Instantaneous and Time-Dependent Deflections on Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams,” *HPR Report* No. 7, Part 1, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, Aug., pp. 1-78.

Branson, D. E., 1970, discussion of “Proposed Revision of ACI 318-63: Building Code Requirements for Reinforced Concrete,” *ACI Journal Proceedings*, V. 67, No. 9, Sept., pp. 692-695.

Branson, D. E., 1971, “Compression Steel Effect on Long-Time Deflections,” *ACI Journal Proceedings*, V. 68, No. 8, Aug., pp. 555-559.

Branson, D. E., 1977, *Deformation of Concrete Structures*, McGraw-Hill Book Co., New York, 546 pp.

Branson, D. E.; Meyers, B. L.; and Kripanarayanan, K. M., 1970, “Time-Dependent Deformation of Noncomposite and Composite Prestressed Concrete Structures,” *Symposium on Concrete*

Briss, G. R.; Paulay, T.; and Park, R., 1978, “Elastic Behavior of Earthquake Resistant R. C. Interior Beam-Column Joints,” *Report* 78-13, University of Canterbury, Department of Civil Engineering, Christchurch, New Zealand, Feb.

Broms, C. E., 1990, “Shear Reinforcement for Deflection Ductility of Flat Plates,” *ACI Structural Journal*, V. 87, No.6, Nov.-Dec., pp. 696-705.

Brown, M. D.; Bayrak, O.; and Jirsa, J. O., 2006, “Design for Shear Based on Loading Conditions,” *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 4, July-Aug., pp. 541-550.

Budek, A.; Priestley, M.; and Lee, C., 2002, “Seismic Design of Columns with High-Strength Wire and Strand as Spiral Reinforcement,” *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 5, Sept.-Oct., pp. 660-670.

Burns, N. H., and Hemakom, R., 1977, “Test of Scale Model Post-Tensioned Flat Plate,” *Proceedings*, ASCE, V. 103, No. ST6, June, pp. 1237-1255.

Canadian Concrete Design Standard, 2009, “Design of Concrete Structures for Buildings,” CAN3-A23.3-M84, and “Precast Concrete Materials and Construction,” CAN3-A23.4-M84, Canadian Standards Association, Rexdale, ON,Canada.

Carino, N. J.; Guthrie, W. F.; Lagergren, E. S.; and Mullings, G. M., 1994, “Effects of Testing Variables on the Strength of High-Strength (90 MPa) Concrete Cylinders,” *High-Performance Concrete*, SP-149, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 589-632.

Carter, J. W. III; Hawkins, N. M.; and Wood, S. L., 1993, “Seismic Response of Tilt-Up Construction,” SRS No. 581, Civil Engineering Series, University of Illinois, Urbana, IL, Dec., 224 pp.

Members,” second edition, Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University, Bethlehem, PA.

Cook, R. A., and Klingner, R. E., 1992a, “Behavior of Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections with Surface-Mounted Baseplates,” *Anchors in Concrete: Design and Behavior*, SP-130, G. A. Senkiw and H. B. Lancelot III, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 61-122.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Castro, A.; Kreger, M.; Bayrak, O.; Breen, J. E.; and Wood, S. L., 2004, "Allowable Design Release Stresses for Pretensioned Concrete Beams," *Report* No. FHWA/TX-04/0-4086-2, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, Austin, TX, Aug., 127 pp.

CEB, 1994, "Fastenings to Concrete and Masonry Structures, State of the Art Report," Comite Euro-International du Beton (CEB), *Bulletin* No. 216, Thomas Telford Services Ltd., London, UK.

CEB, 1997, *Design of Fastenings in Concrete*, Comite Euro-International du Beton (CEB), Thomas Telford Services Ltd., London, UK, Jan.

Chen, L.; Mindess, S.; Morgan, D. R.; Shah, S. P.; Johnston, C. D.; and Pigeon, M., 1995, "Comparative Toughness Testing of Fiber Reinforced Concrete," *Testing of Fiber Reinforced Concrete*, SP-155, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 41-69.

Chow, L.; Conway, H.; and Winter, G., 1953, "Stresses in Deep Beams," *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, V. 118, pp. 686-708.

Clough, R. W., 1960, "Dynamic Effects of Earthquakes," *Proceedings*, ASCE, V. 86, No. ST4, Apr., pp. 49-65.

Cohn, M. A., 1965, "Rotational Compatibility in the Limit Design of Reinforced Concrete Continuous Beams," *Flexural Mechanics of Reinforced Concrete*, SP-12, American Concrete Institute/American Society of Civil Engineers, Farmington Hills, MI, pp. 35-46.

Collins, M. P., and Lampert, P., 1973, "Redistribution of Moments at Cracking—The Key to Simpler Torsion Design?" *Analysis of Structural Systems for Torsion*, SP-35, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 343-383.

Collins, M. P., and Mitchell, D., 1991, *Prestressed Concrete Structures*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 766 pp.

Collins, M. P., and Mitchell, D., 1997, *Prestressed Concrete Structures*, Response Publications, Canada, pp. 517-518.

Column Research Council, 1966, "Guide to Design Criteria for Metal Compression

Cook, R. A., and Klingner, R. E., 1992b, "Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 118, No. 6, June, pp. 1645-1665. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:6(1645)

Cook, R. A.; Kunz, J.; Fuchs, W.; and Konz, R. C., 1998, "Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 95, No. 1, Jan.-Feb., pp. 9-26.

Corley, W. G., and Hawkins, N. M., 1968, "Shearhead Reinforcement for Slabs," *ACI Journal Proceedings*, V. 65, No. 10, Oct., pp. 811-824.

Corley, W. G., and Jirsa, J. O., 1970, "Equivalent Frame Analysis for Slab Design," *ACI Journal Proceedings*, V. 67, No. 11, Nov., pp. 875-884.

Corley, W. G.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1961, "Equivalent-Frame Analysis for Reinforced Concrete Slabs," *Structural Research Series* No. 218, Civil Engineering Studies, University of Illinois, June, 166 pp.

Crist, R. A., 1966, "Shear Behavior of Deep Reinforced Concrete Beams," *Proceedings*, Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structural Elements (Mexico City), V. 4, RILEM, Paris, France, 31 pp.

CRSI Handbook, 1984, sixth edition, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL.

CSA, 1984, "Design of Concrete Structures for Buildings," CAN3-A23.3-M84, and "Precast Concrete Materials and Construction," CAN3-A23.4-M84, Canadian Standards Association, Rexdale, ON, Canada.

or Flexural Loadings," *Betonwerk+Fertigteiltechnik*, pp. 48-56.

Eligehausen, R.; Cook, R. A.; and Appl, J., 2006a, "Behavior and Design of Adhesive Bonded Anchors," *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 6, Nov.-Dec., pp. 822-831.

Eligehausen, R.; Mallée, R.; and Silva, J., 2006b, *Anchorage in Concrete Construction*, Ernst & Sohn (J. T. Wiley), Berlin, Germany, May, 380 pp.

Eligehausen, R.; Fuchs, W.; and Mayer, B., 1987, "Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings in Tension," *Betonwerk+*

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Darwin, D.; Manning, D. G.; and Hognestad, E., 1985, "Debate: Crack Width, Cover, and Corrosion," *Concrete International*, V. 7, No. 5, May, pp. 20-35.

Darwin, D.; Zuo, J.; Tholen, M. L.; and Idun, E. K., 1996, "Development Length Criteria for Conventional and High Relative Rib Area Reinforcing Bars," *ACI Structural Journal*, V. 93, No. 3, May-June, pp. 347-359.

Deatherage, J. H.; Burdette, E. G.; and Chew, C. K., 1994, "Development Length and Lateral Spacing Requirements of Prestressing Strand for Prestressed Concrete Bridge Girders," *PCI Journal*, V. 39, No. 1, Jan.-Feb., pp. 70-83.

Design of Fastenings in Concrete, 1997, Comite Euro-International du Beton (CEB), Thomas Telford Services Ltd., London, UK, Jan.

Dolan, C. W., and Krohn, J. J., 2007, "A Case for Increasing the Allowable Compressive Release Stress for Prestressed Concrete," *PCI Journal*, V. 52, No. 1, Jan.-Feb., pp. 102-105.

Dovich, L. M., and Wight, J. K., 2005, "Effective Slab Width Model for Seismic Analysis of Flat Slab Frames," *ACI Structural Journal*, V. 102, No. 6, Nov.-Dec., pp. 868-875.

Durrani, A. J., and Wight, J. K., 1982, "Experimental and Analytical Study of Internal Beam to Column Connections Subjected to Reversed Cyclic Loading," *Report* No. UMEE 82R3, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, July, 275 pp.

Ehsani, M. R., 1982, "Behavior of Exterior Reinforced Concrete Beam to Column Connections Subjected to Earthquake Type Loading," *Report* No. UMEE 82R5, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, July, 275 pp.

Eligehausen, R., and Balogh, T., 1995, "Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 3, May-June, pp. 365-379.

Eligehausen, R., and Fuchs, W., 1988, "Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings under Shear, Combined Tension and Shear *Fertigteiltechnik*, V. 12, pp. 826-832, and 1988, V. 1, pp. 29-35.

Elwood, K. J.; Maffei, J. M.; Riederer, K. A.; and Telleen, K., 2009, "Improving Column Confinement—Part 2: Proposed New Provisions for the ACI 318 Building Code," *Concrete International*, V. 31, No. 12, Dec., pp. 41-48.

Elzanaty, A. H.; Nilson, A. H.; and Slate, F. O., 1986, "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High Strength Concrete," *ACI Journal Proceedings*, V. 83, No. 2, Mar.-Apr., pp. 290-296.

Faradji, M. J., and Diaz de Cossio, R., 1965, "Diagonal Tension in Concrete Members of Circular Section," (in Spanish) Institut de Ingenieria, Mexico (translation by Portland Cement Association, Foreign Literature Study No. 466), 61 pp.

Farrow, C. B., and Klingner, R. E., 1995, "Tensile Capacity of Anchors with Partial or Overlapping Failure Surfaces: Evaluation of Existing Formulas on an LRFD Basis," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 6, Nov.-Dec., pp. 698-710.

Fennel, A. W.; Line, P.; Mochizuki, G. L.; Moore, K. S.; Van Dorpe, T. D.; and Voss, T. A., 2009, "Report on Laboratory Testing of Anchor Bolts Connecting Wood Sill Plates to Concrete with Minimum Edge Distances," SEAONC, San Francisco, CA, Mar.

Fintel, M.; Ghosh, S. K.; and Iyengar, H., 1986, *Column Shortening in Tall Buildings—Prediction and Compensation*, EB108D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 34 pp.

Furlong, R. W.; Fenves, G. L.; and Kasl, E. P., 1991, "Welded Structural Wire Reinforcement for Columns," *ACI Structural Journal*, V. 88, No. 5, Sept.-Oct., pp. 585-591.

Furlong, R. W.; Hsu, C.-T. T.; and Mirza, S. A., 2004, "Analysis and Design of Concrete Columns for Biaxial Bending—Overview," *ACI Structural Journal*, V. 101, No.3, May-June, pp. 413-423.

Gamble, W. L., 1972, "Moments in Beam Supported Slabs," *ACI Journal Proceedings*, V. 69, No. 3, Mar., pp. 149-157.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

FIP, 1999, FIP *Recommendations, Practical Design of Structural Concrete*, FIP-Commission 3, "Practical Design," Pub.: SETO, London, UK, Sept., 112 pp.

Fling, R. S., 1987, *Practical Design of Reinforced Concrete*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 536 pp.

Ford, J. S.; Chang, D. C.; and Breen, J. E., 1981, "Design Indications from Tests of Unbraced Multipanel Concrete Frames," *Concrete International*, V. 3, No. 3, Mar., pp. 37-47.

Foutch, D. A.; Gamble, W. L.; and Sunidja, H., 1990, "Tests of Post-Tensioned Concrete Slab-Edge Column Connections," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr., pp. 167-179.

Frantz, G. C., and Breen, J. E., 1980, "Cracking on the Side Faces of Large Reinforced Concrete Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 77, No. 5, Sept.-Oct., pp. 307-313.

French, C. W., and Moehle, J. P., 1991, "Effect of Floor Slab on Behavior of Slab-Beam-Column Connections," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, J. O. Jirsa, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 225-258.

Frosch, R. J., 1999, "Another Look at Cracking and Crack Control in Reinforced Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 3, May-June, pp. 437-442.

Frosch, R. J., 2002, "Modeling and Control of Side Face Beam Cracking," *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 3, May- June, pp. 376-385.

Fuchs, W.; Eligehausen, R.; and Breen, J., 1995, "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 1, Jan.-Feb. 1995, pp. 73-93. Also discussion, ACI Structural Journal, V. 92, No. 6, Nov.-Dec., pp. 787-802.

Furche, J., and Eligehausen, R., 1991, "Lateral Blowout Failure of Headed Studs Near a Free Edge," *Anchors in Concrete—Design and Behavior*, SP-130, G. A. Senkiw and H. B. Lancelot III, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 235-252

Grossman, J. S., 1987, "Reinforced Concrete Design," *Building Structural Design Handbook*, R. N. White and C. G. Salmon, eds., John Wiley and Sons, Inc.,

Gamble, W. L.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1969, "Tests of a Two-Way Reinforced Concrete Floor Slab," *Proceedings*, ASCE, V. 95, No. ST6, June, pp. 1073-1096.

Gerber, L. L., and Burns, N. H., 1971, "Ultimate Strength Tests of Post-Tensioned Flat Plates," *PCI Journal*, V. 16, No. 6, Nov.-Dec., pp. 40-58.

Gergely, P., and Lutz, L. A., 1968, "Maximum Crack Width in Reinforced Concrete Flexural Members," *Causes, Mechanism, and Control of Cracking in Concrete*, SP-20, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 87-117.

Gilbert, R. I., 1992, "Shrinkage Cracking in Fully Restrained Concrete Members," *ACI Structural Journal,* V. 89, No. 2, Mar.-Apr., pp. 141-149.

Ghali, A., and Favre, R., 1986, *Concrete Structures: Stresses and Deformations*, Chapman and Hall, New York, 348 pp.

Goto, Y., 1971, "Cracks Formed in Concrete around Deformed Tension Bars in Concrete," *ACI Journal Proceedings*, V. 68, No. 4, Apr., pp. 244-251.

Griezic, A.; Cook, W. D.; and Mitchell, D., 1994, "Tests to Determine Performance of Deformed Welded-Wire Fabric Stirrups," *ACI Structural Journal*, V. 91, No. 2, Mar.-Apr., pp. 211-220.

Grossfield, B., and Birnstiel, C., 1962, "Tests of T-Beams with Precast Webs and *Cast-in-Place Flanges," ACI* Journal Proceedings, V. 59, No. 6, June, pp. 843-851.

Hanson, N. W., and Conner, H. W., 1967, "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Proceedings*, ASCE, V. 93, No. ST5, Oct., pp. 533-560.

Hanson, N. W., and Hanson, J. M., 1968, "Shear and Moment Transfer between Concrete Slabs and Columns," *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 10, No. 1, Jan., pp. 2-16.

Hanson, N. W., and Kaar, P. H., 1959, "Flexural Bond Tests Pretensioned Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 55, No. 7, Jan., pp. 783-802.

Hatcher, D. S.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1965, "Test of a Reinforced Concrete Flat Plate," *Proceedings*, ASCE, V. 91, No. ST5, May, pp. 205-231.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

New York.

Grossman, J. S., 1990, “Slender Concrete Structures—The New Edge,” *ACI Structural Journa*l, V. 87, No. 1, Jan.- Feb., pp. 39-52.

Guimares, G. N.; Kreger, M. E.; and Jirsa, J. O., 1992, “Evaluation of Joint-Shear Provisions for Interior Beam-Column-Slab Connections Using High Strength Materials,” *ACI Structural Journal*, V. 89, No. 1, Jan.-Feb., pp. 89-98.

Gulkan, P., and Sozen, M. A., 1974, “Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions,” *ACI Journal Proceedings*, V. 71, No. 12, Dec., pp. 604-610.

Guralnick, S. A., and LaFraugh, R. W., 1963, “Laboratory Study of a Forty-Five-Foot Square Flat Plate Structure,” *ACI Journal Proceedings*, V. 60, No. 9, Sept., pp. 1107-1185.

Gustafson, D. P., and Felder, A. L., 1991, “Questions and Answers on ASTM A706 Reinforcing Bars,” *Concrete International*, V. 13, No. 7, July, pp. 54-57.

Hale, W. M., and Russell, B. W., 2006, “Effect of Allowable Compressive Stress at Release on Prestress Losses and on the Performance of Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders,” *PCI Journal*, V. 51, No. 2, Mar.-Apr., pp. 14-25.

Hamad, B. S.; Jirsa, J. O.; and D’Abreu, N. I., 1993, “Anchorage Strength of Epoxy-Coated Hooked Bars,” *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 2, Mar.-Apr., pp. 210-217.

Hansell, W., and Winter, G., 1959, “Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams,” *ACI Journal Proceedings*, V. 56, No. 3, Sept., pp. 193-214.

Hanson, J. A., 1961, “Tensile Strength and Diagonal Tension Resistance of Structural Lightweight Concrete,” *ACI Journal Proceedings*, V. 58, No. 1, July, pp. 1-40.

Hanson, N. W., 1960, “Precast-Prestressed Concrete Bridges: Horizontal Shear Connections,” *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, May, pp. 38-58.

Hirosawa, M., 1977, “Strength and Ductility of Reinforced Concrete Members,” Report No. 76, Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo, Mar. (in Japanese). Also, data in Civil Engineering

Hatcher, D. S.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1969, “Test of a Reinforced Concrete Flat Slab,” *Proceedings*, ASCE, V. 95, No. ST6, June, pp. 1051-1072.

Hawkins, N. M., 1968, “Bearing Strength of Concrete Loaded through Rigid Plates,” *Magazine of Concrete Research*, V. 20, No. 62, Mar., pp. 31-40. doi: 10.1680/macr.1968.20.62.31 (London)

Hawkins, N. M., 1974, “Shear Strength of Slabs with Shear Reinforcement,” *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 785-815.

Hawkins, N. M., 1981, “Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction,” *PCI Journal*, V. 26, No. 1, Jan.-Feb., pp. 94-116.

Hawkins, N. M., and Corley, W. G., 1974, “Moment Transfer to Columns in Slabs with Shearhead Reinforcement,” *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 847-879.

Hawkins, N. M.; Mitchell, D.; and Hanna, S. N., 1975, “The Effects of Shear Reinforcement on Reversed Cyclic Loading Behavior of Flat Plate Structures,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, V. 2, No. 4, pp. 572-582. doi: 10.1139/l75-052 (Ottawa)

Jeanty, P. R.; Mitchell, D.; and Mirza, M. S., 1988, “Investigation of ‘Top Bar’ Effects in Beams,” *ACI Structural Journal*, V. 85, No. 3, May-June, pp. 251-257.

Jirsa, J. O., and Breen, J. E., 1981, “Influence of Casting Position and Shear on Development and Splice Length—Design Recommendations,” *Research Report* 242-3F, Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin, Austin, TX, Nov.

Jirsa, J. O.; Lutz, L. A.; and Gergely, P., 1979, “Rationale for Suggested Development, Splice, and Standard Hook Provisions for Deformed Bars in Tension,” *Concrete International*, V. 1, No. 7, July, pp. 47-61.

Jirsa, J. O., and Marques, J. L. G., 1975, “A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints,” *ACI Journal Proceedings*, V. 72, No. 5, May, pp. 198-200.

© BSN 2019

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Studies, 1978, *Structural Research Series* No. 452, University of Illinois.

Hoehler, M., and Eligehausen, R., 2008, "Behavior and Testing of Anchors in Simulated Seismic Cracks," *ACI Structural Journal*, V. 105, No. 3, May-June, pp. 348-357.

Hsu, T. T. C., 1968, "Torsion of Structural Concrete—Behavior of Reinforced Concrete Rectangular Members," *Torsion of Structural Concrete*, SP-18, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 291-306.

Hsu, T. T. C., 1990, "Shear Flow Zone in Torsion of Reinforced Concrete," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 116, No. 11, Nov., pp. 3206-3226. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:11(3206)

Hsu, T. T. C., 1997, "ACI Shear and Torsion Provisions for Prestressed Hollow Girders," *ACI Structural Journal*, V. 94, No. 6, Nov.-Dec., pp. 787-799.

Hsu, T. T. C., and Burton, K. T., 1974, "Design of Reinforced Concrete Spandrel Beams," *Proceedings*, ASCE, V. 100, No. ST1, Jan., pp. 209-229.

Hwang, S., and Moehle, J. P., 2000, "Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames," *ACI Structural Journal*, V. 97, No. 2, Mar.-Apr., pp. 345-353.

ICBO, 1997, "Uniform Building Code," V. 2, Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 492 pp.

Ishizuka, T., and Hawkins, N. M., 1987, "Effect of Bond Deterioration on the Seismic Response of Reinforced and Partially Prestressed Concrete Ductile Moment Resistant Frames," *Report* SM 87-2, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, WA.

Ivey, D. L., and Buth, E., 1967, "Shear Capacity of Lightweight Concrete Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 64, No. 10, Oct., pp. 634-643.

Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1963, "Effects of Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," *Structural Research Series* No. 269, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana, IL, July.

Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1966, "Test of a Flat Slab Reinforced with Welded Wire Fabric," *Proceedings*, ASCE, V. 92, No. ST6, June, pp. 199-224.

Jirsa, J. O.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1969, "Pattern Loadings on Reinforced Concrete Floor Slabs," *Proceedings*, ASCE, V. 95, No. ST6, June, pp. 1117-1137.

Johnson, M. K., and Ramirez, J. A., 1989, "Minimum Amount of Shear Reinforcement in High Strength Concrete Members," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 4, July-Aug., pp. 376-382.

Johnston, D. W., and Zia, P., 1982, "Bond Characteristicsm of Epoxy-Coated Reinforcing Bars," *Report* No. FHWA/NC/82-002, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, Aug.

Joint ACI-ASCE Committee 326, 1962, "Shear and Diagonal Tension," *ACI Journal Proceedings*, V. 59, No. 1, Jan. 1962, pp. 1-30; No. 2, Feb. 1962, pp. 277-334; and No. 3, Mar., pp. 352-396.

Karr, P. H.; Hanson, N. W.; and Capell, H. T., 1978, "Stress-Strain Characteristics of High Strength Concrete," *Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures*, SP-55, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 161-185.

Kemp, E. L.; Brezny, F. S.; and Unterspan, J. A., 1968, "Effect of Rust and Scale on the Bond Characteristics of Deformed Reinforcing Bars," *ACI Journal Proceedings*, V. 65, No. 9, Sept., pp. 743-756.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Joint ACI-ASCE Committee 423, 1958, “Tentative Recommendations for Prestressed Concrete,” *ACI Journal Proceedings*, V. 54, No. 7, Jan., pp. 545-578.

Joint ACI-ASCE Committee 423, 1974, “Tentative Recommendations for Prestressed Concrete Flat Plates,” *ACI Journal Proceedings*, V. 71, No. 2, Feb., pp. 67-71.

Joint ACI-ASCE Committee 426, 1973, “Shear Strength of Reinforced Concrete Members (ACI 426R-74),” *Proceedings*, ASCE, V. 99, No. ST6, June, pp. 1148-1157.

Joint ACI-ASCE Committee 426, 1974, “The Shear Strength of Reinforced Concrete Members—Slabs,” *Proceedings*, ASCE, V. 100, No. ST8, Aug., pp. 1543-1591.

Joint PCI/WRI Ad Hoc Committee on Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement, 1980, “Welded Wire Fabric for Shear Reinforcement,” *PCI Journal*, V. 25, No. 4, July-Aug., pp. 32-36.

Kaar, P. H., 1966, “High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 8: Similitude in Flexural Cracking of T-Beam Flanges,” *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 8, No. 2, May, pp. 2-12.

Kaar, P. H.; Kriz, L. B.; and Hognestad, E., 1960, “Precast-Prestressed Concrete Bridges: (1) Pilot Tests of Continuous Girders,” *Journal*, PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No. 2, May, pp. 21-37.

Kaar, P. H.; La Fraugh, R. W.; and Mass, M. A., 1963, “Influence of Concrete Strength on Strand Transfer Length,” *PCI Journal*, V. 8, No. 5, Oct., pp. 47-67.

Kaar, P., and Magura, D., 1965, “Effect of Strand Blanketing on Performance of Pretensioned Girders,” *PCI Journal*, V. 10, No. 6, Dec., pp. 20-34.

Kahn, L. F., and Mitchell, A. D., 2002, “Shear Friction Tests with High-Strength Concrete,” *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 1, Jan.-Feb., pp. 98-103.

Kang, T. H.-K.; Shin, M.; Mitra, N.; and Bonacci, J. F., 2009, “Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Headed Bars,” *ACI Structural Journal*, V. 106, No. 6, Nov.-Dec., pp. 868-877.

Khalifa, J. U., and Collins, M. P., 1981, “Circular Reinforced Concrete Members Subjected to Shear,” *Publications* No. 81-08, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, ON, Canada, Dec.

Khuntia, M., and Ghosh, S. K., 2004a, “Flexural Stiffness of Reinforced Concrete Columns and Beams: Analytical Approach,” *ACI Structural Journal*, V. 101, No. 3, May-June, pp. 351-363.

Khuntia, M., and Ghosh, S. K., 2004b, “Flexural Stiffness of Reinforced Concrete Columns and Beams: Experimental Verification,” *ACI Structural Journal*, V. 101, No. 3, May-June, pp. 364-374.

Klein, G. J., 1986, “Design of Spandrel Beams,” PCI *Specially Funded Research Project* No. 5, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL.

Klein, G. J., and Lindenberg, R. J., 2009, “Volume Change Response of Precast Concrete Buildings,” *PCI Journal*, V. 54, No. 4, Fall, pp. 112-131.

Klingner, R.; Mendonca, J.; and Malik, J., 1982, “Effect of Reinforcing Details on the Shear Resistance of Anchor Bolts under Reversed Cyclic Loading,” *ACI Journal Proceedings*, V. 79, No. 1, Jan.-Feb., pp. 3-12.

Kramrisch, F., and Rogers, P., 1961, “Simplified Design of Combined Footings,” *Proceedings*, ASCE, V. 87, No. SM5, Oct.,p. 19.

Kriz, L. B., and Raths, C. H., 1965, “Connections in Precast Concrete Structures—Strength of Corbels,” *PCI Journal*, V. 10, No. 1, Feb., pp. 16-47.
doi: 10.1016/0008-8846(86)90049-9

Lin, T. Y., and Thornton, K., 1972, “Secondary Moment and Moment Redistribution in Continuous Prestressed Beams,” *PCI Journal*, V. 17, No. 1, Jan.-Feb., pp. 8-20 and comments by A. H. Mattock and author’s closure, *PCI Journal*, V. 17, No. 4, July-Aug., pp. 86-88.

Lloyd, J. P., 1971, “Splice Requirements for One-Way Slabs Reinforced with Smooth Welded Wire Fabric,” *Publication* No. R(S)4, Civil Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, June, 37 pp.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Kuhn, D., and Shaikh, F., 1996, "Slip-Pullout Strength of Hooked Anchors," *Research Report*, University of Wisconsin-Milwaukee, submitted to the National Codes and Standards Council.

Kurose, Y.; Nagami, K.; and Saito, Y., 1991, "Beam-Column Joints in Precast Concrete Construction in Japan," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, J. O. Jirsa, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 493-514.

Lai, S. M. A., and MacGregor, J. G., 1983, "Geometric Nonlinearities in Unbraced Multistory Frames," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 109, No. 11, Nov., pp. 2528-2545. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:11(2528)

Lee, N. H.; Kim, K. S.; Bang, C. J.; and Park, K. R., 2007, "Tensile-Headed Anchors with Large Diameter and Deep Embedment in Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 104, No. 4, July-Aug., pp. 479-486.

Lee, N. H.; Park, K. R.; and Suh, Y. P., 2010, "Shear Behavior of Headed Anchors with Large Diameters and Deep Embedments," *ACI Structural Journal*, V. 107, No. 2, Mar.-Apr., pp. 146-156.

Leon, R. T., 1989, "Interior Joints with Variable Anchorage Lengths," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 115, No. 9, Sept., pp. 2261-2275. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:9(2261)

Leonhardt, F., and Walther, R., 1964, "The Stuttgart Shear Tests," *C&CA Translation*, No. 111, Cement and Concrete Association, London, UK, 134 pp.

Lepage, A., 1998, "Nonlinear Drift of Multistory RC Structures during Earthquakes," Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA.

Leslie, K. E.; Rajagopalan, K. S.; and Everard, N. J., 1976, "Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 73, No. 9, Sept., pp. 517-521.

Li, S., and Roy, D. M., 1986, "Investigation of Relations between Porosity, Pore Structure and CL Diffusion of Fly Ash and Blended Cement Pastes," *Cement and Concrete Research*, V. 16, No. 5, Sept., pp. 749-759.

Lloyd, J. P., and Kesler, C. E., 1969, "Behavior of One-Way Slabs Reinforced with Deformed Wire and Deformed Wire Fabric," *T&AM Report* No. 323, University of Illinois, Urbana, IL, 129 pp.

Logan, D. R., 1997, "Acceptance Criteria for Bond Quality of Strand for Pretensioned Prestressed Concrete Applications," *PCI Journal*, V. 42, No. 2, Mar.-Apr., pp. 52-90.

Lotze, D.; Klingner, R. E.; and Graves, H. L. III, 2001, "Static Behavior of Anchors under Combinations of Tension and Shear Loading," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 4, July-Aug., pp. 525-536.

Lubell, A. S.; Sherwood, E. G.; Bentz, E. C.; and Collins, M. P., 2004, "Safe Shear Design of Large Wide Beams," *Concrete International*, V. 26, No. 1, Jan., pp. 66-78.

Lucier, G.; Walter, C.; Rizkalla, S.; Zia, P.; and Klein, G., 2011a, "Development of a Rational Design Methodology for Precast Slender Spandrel Beams, Part 1: Experimental Results," *PCI Journal*, V. 56, No. 2, Spring, pp. 88-112.

Lucier, G.; Walter, C.; Rizkalla, S.; Zia, P.; and Klein, G., 2011b, "Development of a Rational Design Methodology for Precast Slender Spandrel Beams, Part 2: Analysis and Design Guidelines," *PCI Journal*, V. 56, No. 4, Fall, pp. 106-133.

Lutz, L., 1995, discussion to "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*, Nov.-Dec., pp. 791-792. Also, authors' closure, pp. 798-799.

MacGregor, J. G., 1976, "Safety and Limit

Mast, R. F., 1992, "Unified Design Provision for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members," *ACI Structural Journal*, V.89, No. 2, Mar.-Apr., pp. 185-199.

Mast, R. F., 1998, "Analysis of Cracked Prestressed Concrete Sections: A Practical Approach," *PCI Journal*, V.43, No. 4, July-Aug., pp. 80-91.

Mathey, R. G., and Clifton, J. R., 1976, "Bond of Coated Reinforcing Bars in Concrete," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 102, Jan., pp. 215-228.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

State Design for Reinforced Concrete," *Canadian Journal of Civil Engineering*, V. 3, No. 4, Dec., pp. 484-513. doi:10.1139/l76-055

MacGregor, J. G., 1993, "Design of Slender Concrete Columns—Revisited," *ACI Structural Journal*, V. 90, No. 3, May-June, pp. 302-309.

MacGregor, J. G., 1997, *Reinforced Concrete*: Mechanics and Design, third edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 939 pp.

MacGregor, J. G., and Ghoneim, M. G., 1995, "Design for Torsion," *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 2, Mar.-Apr., pp. 211-218.

MacGregor, J. G., and Hage, S. E., 1977, "Stability Analysis and Design of Concrete Frames," *Proceedings*, ASCE, V. 103, No. ST10, Oct., pp. 1953-1970.

MacGregor, J. G., and Hanson, J. M., 1969, "Proposed Changes in Shear Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Beams," *ACI Journal Proceedings*, V. 66, No. 4, Apr., pp. 276-288.

MacGregor, J. G.; Breen, J. E.; and Pfrang, E. O., 1970, "Design of Slender Concrete Columns," *ACI Journal Proceedings*, V. 67, No. 1, Jan., pp. 6-28.

Malhotra, V. M., 1976, *Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods*, ACI Monograph No. 9, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Farmington Hills, MI, 188 pp.

Malhotra, V. M., 1977, "Contract Strength Requirements—Cores Versus In Situ Evaluation," *ACI Journal Proceedings*, V. 74, No. 4, Apr., pp. 163-172.

Marti, P., 1985, "Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design," *ACI Journal Proceedings*, V. 82, No. 1, Jan.-Feb., pp. 46-56.

Martin, L., and Korkosz, W., 1995, "Strength of Prestressed Members at Sections Where Strands Are Not Fully Developed," *PCI Journal*, V. 40, No. 5, Sept.-Oct., pp. 58-66.

Mast, R. F., 1968, "Auxiliary Reinforcement in Concrete Connections," *Proceedings*, ASCE, V. 94, No. ST6, June, pp. 1485-1504.

Mattock, A.H., 1959,"Redistribution of Design Bending Moments in Reinforced Concrete Continuous Beams," *Proceedings*, Institution of Civil Engineers, London, UK, V. 13, No.1 ,pp.35-46. doi:10.1680/iicep.1959. 12087

Mattock, A. H., 1974, "Shear Transfer in Concrete Having Reinforcement at an Angle to the Shear Plane," *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 17-42.

Mattock, A. H., 1977, discussion of "Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads," by PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, *PCI Journal*, V. 22, No. 3,May-June, pp. 105-106.

Mattock, A. H., 2001, "Shear Friction and High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 1, Jan.-Feb., pp. 50-59.

Mattock, A. H., and Hawkins, N. M., 1972, "Shear Transfer in Reinforced Concrete—Recent Research," *PCI Journal*, V. 17, No. 2, Mar.-Apr., pp. 55-75.

Mattock, A. H.; Chen, K. C.; and Soongswang, K., 1976a, "The Behavior of Reinforced Concrete Corbels," *PCI Journal*, V. 21, No. 2, Mar.-Apr., pp. 52-77.

Mattock, A. H.; Li, W. K.; and Want, T. C., 1976b, "Shear Transfer in Lightweight Reinforced Concrete," *PCI Journal*, V. 21, No. 1, Jan.-Feb., pp. 20-39.

Mattock, A. H.; Johal, L.; and Chow, H. C., 1975, "Shear Transfer in Reinforced Concrete with Moment or Tension Acting Across the Shear Plane," *PCI Journal*, V. 20,

Earthquakes," *Earthquake Spectra*, V. 8, No. 3, Aug., pp. 403-428. doi: 10.1193/1.1585688

Moehle, J. P.; Ghodsi, T.; Hooper, J. D.; Fields, D. C.; and Gedhada, R., 2011, "Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams: A Guide for Practicing Engineers," *NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 6*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

No. 4, July-Aug., pp. 76-93.

Mattock, A. H.; Kriz, L. B.; and Hognestad, E., 1961, "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," *ACI Journal Proceedings*, V. 57, No. 8, Feb., pp. 875-928.

Mattock, A. H.; Yamazaki, J.; and Kattula, B. T., 1971, "Comparative Study of Prestressed Concrete Beams, with and without Bond," *ACI Journal Proceedings*, V. 68, No. 2, Feb., pp. 116-125.

Megally, S., and Ghali, A., 2002, "Punching Shear Design of Earthquake-Resistant Slab-Column Connections," *ACI Structural Journal*, V. 97, No. 5, Sept.-Oct., pp. 720-730.

Meinheit, D. F., and Jirsa, J. O., 1977, "Shear Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *Report* No. 77-1, Department of Civil Engineering, Structures Research Laboratory, University of Texas at Austin, Austin, TX, Jan.

Meinheit, D. F., and Jirsa, J. O., 1981, "Shear Strength of R/C Beam-Column Connections," *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 107, Nov., pp. 2227-2244.

Menn, C., 1986, *Prestressed Concrete Bridges*, Birkhäuser, Basle, ed., 535 pp.

Mirza, S. A., 1990, "Flexural Stiffness of Rectangular Reinforced Concrete Columns," *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 4, July-Aug., pp. 425-435.

Mirza, S. A.; Lee, P. M.; and Morgan, D. L., 1987, "ACI Stability Resistance Factor for RC Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 113, No. 9, Sept., pp. 1963-1976. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:9(1963)

Moehle, J. P., 1996, "Seismic Design Considerations for Flat Plate Construction," *Mete A. Sozen Symposium: A Tribute from his Students*, SP-162, J. K. Wight and M. E. Kreger, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 1-35.

Moehle, J. P., 1988, "Strength of Slab-Column Edge Connections," *ACI Structural Journal*, V. 85, No. 1, Jan.-Feb., pp. 89-98.

Moehle, J. P., 1992, "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to

Moehle, J. P., Hooper, J. D.; Kelly, D. J.; and Meyer, T. R., 2010, "Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A Guide for Practicing Engineers," NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST GCR 10-917-4.

Mitchell, D., and Collins, M. P., 1976, "Detailing for Torsion," *ACI Journal Proceedings*, V. 73, No. 9, Sept., pp. 506-511.

Mitchell, D., and Cook, W. D., 1984, "Preventing Progressive Collapse of Slab Structures," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 110, No. 7, July, pp. 1513-1532. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:7(1513)

Mojtahedi, S., and Gamble, W. L., 1978, "Ultimate Steel Stresses in Unbonded Prestressed Concrete," *Proceedings*, ASCE, V. 104, No. ST7, July, pp. 1159-1165.

Mphonde, A. G., and Frantz, G. C., 1984, "Shear Tests of High- and Low-Strength Concrete Beams without Stirrups," *ACI Journal Proceedings*, V. 81, No. 4, July-Aug., pp. 350-357.

Muguruma, H., and Watanabe, F., 1990, "Ductility Improvement of High-Strength Concrete Columns with Lateral Confinement," *Proceedings, Second International Symposium on High-Strength Concrete*, SP-121, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 47-60.

Muttoni, A.; Schwartz, J.; and Thürlimann, B., 1997, *Design of Concrete Structures with Stress Fields*, Birkhauser, Boston, MA, 143 pp.

. 168-178.doi:10.1016/j.engfracmech.2006.01.019

Ozcebe, G.; Ersoy, U.; and Tankut, T., 1999, "Evaluation of Minimum Shear Reinforcement for Higher Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 3, May-June, pp. 361-368.

Ozyildirim, C., and Halstead, W., 1988, "Resistance to Chloride Ion Penetration of Concretes Containing Fly Ash, Silica Fume, or Slag," *Permeability of Concrete*, SP-108, ACI, Farmington Hills, MI, pp. 35-61.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Nakaki, S. D.; Stanton, J. F.; and Sritharan, S., 1995, “An Overview of the PRESSS Five-Story Precast Test Building,” *PCI Journal*, V. 44, No. 2, Apr., pp. 26-39.

NEHRP, 1994, “The NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings,” Building Seismic Safety Council, Washington, DC.

Nichols, J. R., 1914, “Statical Limitations upon the Steel Requirement in Reinforced Concrete Flat Slab Floors,” *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, V. 77, pp. 1670-1736.

Nilsson, I. H. E., and Losberg, A., 1976, “Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment,” *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 102, June, pp. 1229-1254.

Odello, R. J., and Mehta, B. M., 1967, “Behavior of a Continuous Prestressed Concrete Slab with Drop Panels,” *Report*, Division of Structural Engineering and Structural Mechanics, University of California, Berkeley, Berkeley, CA.

Oesterle, R. G., 1997, “The Role of Concrete Cover in Crack Control Criteria and Corrosion Protection,” RD Serial No. 2054, Portland Cement Association, Skokie, IL.

Olesen, S. E.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1967, “Investigation of Prestressed Reinforced Concrete for Highway Bridges, Part IV: Strength in Shear of Beams with Web Reinforcement,” *Bulletin* No. 493, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, IL.

Orangun, C. O.; Jirsa, J. O.; and Breen, J. E., 1977, “A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices,” *ACI Journal Proceedings*, V. 74, No. 3, Mar., pp. 114-122.

Ospina, C. E., and Alexander, S. D. B., 1998, “Transmission of Interior Concrete Column Loads through Floors,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 124, No. 6, June, pp. 602-610. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:6(602)

Ožbolt, J.; Eligehausen, R.; Periškić, G.; and Mayer, U., 2007, “3D FE Analysis of Anchor Bolts with Large Embedments,” *Engineering Fracture Mechanics*, V. 74, No. 1-2, Jan., pp.

Palmieri, L.; Saqan, E.; French, C.; and Kreger, M., 1996, “Ductile Connections for Precast Concrete Frame Systems,” *Mete A. Sozen Symposium: A Tribute from his Students*, SP-162, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 315-335.

Pan, A., and Moehle, J. P., 1989, “Lateral Displacement Ductility of Reinforced Concrete Flat Plates,” *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 3, May-June, pp. 250-258.

Park, R., and Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, Wiley-Interscience, New York, 769 pp.

Park, R., and Thompson, K. J., 1977, “Cyclic Load Tests on Prestressed and Partially Prestressed Beam-Column Joints,” *PCI Journal*, V. 22, No. 3, pp. 84-110.

Parra-Montesinos, G. J., 2006, “Shear Strength of Beams with Deformed Steel Fibers,” *Concrete International*, V. 28, No. 11, Nov., pp. 57-66.

Paulay, T., and Binney, J. R., 1974, “Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls,” *Shear in Reinforced Concrete*, SP-42, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 579-598.

Paulson, C.; Graham, S. K.; and Rautenberg, J. M., 2013, “Determination of Yield Strength for Nonprestressed Steel Reinforcement,” Charles Pankow Foundation RGA #04-13, WJE No. 2013.4171, Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc., Pasadena, CA, Dec. 31, 100 pp.

Paultre, P., and Légeron, F., 2008, “Confinement Reinforcement Design for Reinforced Concrete Columns,” Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 134, No. 5,

Portland Cement Association (PCA), 1946, “Design of Deep Girders,” IS079D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 10 pp.

Portland Cement Association (PCA), 1972, *Handbook of Frame Constants*, Skokie, IL, 1972, 34 pp.

Portland Cement Association (PCA), 1980, “Design and Construction of Large-Panel Concrete Structures,” six reports, 762 pp., EB 100D; three studies, 300 pp., 1980, EB 102D, 1976-1980, Portland Cement Association, Skokie, IL.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

pp. 738-749. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:5(738)

Pauw, A., 1960, “Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density,” ACI Journal Proceedings, V. 57, No. 6, Dec., pp. 679-687.

PCI, 1993, “Recommended Practice for Design, Manufacture, and Installation of Prestressed Concrete Piling,” PCI Journal, V. 38, No. 2, Mar.-Apr., pp. 14-41.

PCI Building Code Committee, 1986, “Proposed Design Requirements for Precast Concrete,” PCI Journal, V. 31, No. 6, Nov.-Dec., pp. 32-47.

PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Buildings, 1976, “Considerations for the Design of Precast Concrete Bearing Wall Buildings to Withstand Abnormal Loads,” PCI Journal, V. 21, No. 2, Mar.-Apr., pp. 18-51.

PCI Committee on Prestress Losses, 1975, “Recommendations for Estimating Prestress Losses,” PCI Journal, V. 20, No. 4, July-Aug., pp. 43-75.

Perez, F. J.; Pessiki, S.; Sause, R.; and Lu, L.-W., 2003, “Lateral Load Tests of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls,” Large Scale Structural Testing, SP-211, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 161-182.

Pessiki, S.; Graybeal, B.; and Mudlock, M., 2001, “Proposed Design of High-Strength Spiral Reinforcement in Compression Members,” ACI Structural Journal, V. 98, No. 6, Nov.-Dec., pp. 799-810.

Pfister, J. F., 1964, “Influence of Ties on the Behavior of Reinforced Concrete Columns,” ACI Journal Proceedings, V. 61, No. 5, May, pp. 521-537.

Pfister, J. F., and Mattock, A. H., 1963, “High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 5: Lapped Splices in Concentrically Loaded Columns,” Journal, PCA Research and Development Laboratories, V. 5, No. 2, May, pp. 27-40.

Popov, E. P.; Bertero, V. V.; and Krawinkler, H., 1972, “Cyclic Behavior of Three R/C Flexural Members with High Shear,” EERC Report No. 72-5, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, Oct.

Portland Cement Association (PCA), 2011, “Design and Control of Concrete Mixtures,” 15th edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 444 pp.

Primavera, E. J.; Pinelli, J.-P.; and Kalajian, E. H., 1997, “Tensile Behavior of Cast-in-Place and Undercut Anchors in High-Strength Concrete,” *ACI Structural Journal*, V. 94, No. 5, Sept.-Oct., pp. 583-594.

Powers, T. C., 1975, “Freezing Effects in Concrete,” *Durability of Concrete*, SP-47, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 1-11.

Priestley, M. J. N.; Sritharan, S.; Conley, J.; and Pampanin, S., 1999, “Preliminary Results and Conclusions from the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building,” *PCI Journal*, V. 44, No. 6, Nov.-Dec., pp. 42-67.

Rabbat, B. G.; Kaar, P. H.; Russell, H. G.; and Bruce, R. N. Jr., 1979, “Fatigue Tests of Pretensioned Girders with Blanketed and Draped Strands,” *PCI Journal*, V. 24, No. 4, July-Aug., pp. 88-114.

Reineck, K.-H., ed., 2002, *Strut-and-Tie Models*, SP-208, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 250 pp.

Reineck, K.-H., and Novak, L., C., eds., 2010, *Further Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and-Tie Models*, SP-273, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 288 pp.

Restrepo, J. I., 2002, “New Generation of Earthquake Resisting Systems,” *Proceedings, First fib Congress*, Session 6, Osaka, Japan, Oct., pp. 41-60.

Sabnis, G. M., Meyers; B. L.; and Roll, F., eds., 1974, *Deflections of Concrete Structures*, SP-43, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 637 pp.

Saemann, J. C., and Washa, G. W., 1964, “Horizontal Shear Connections between Precast Beams and Cast-in-Place Slabs,” *ACI Journal Proceedings*, V. 61, No. 11, Nov., pp. 1383-1409. Also see discussion, ACI Journal Proceedings, V. 62, June 1965.

Sakai, K., and Sheikh, S. A., 1989, “What Do We Know about Confinement in Reinforced Concrete Columns? (A Critical Review of Previous Work and Code Provisions),” *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 2, Mar.-Apr., pp. 192-207.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Restrepo, J. I.; Park, R.; and Buchanan, A. H., 1995a, “Tests on Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames of Buildings,” *PCI Journal*, V. 40, No. 4, July-Aug., pp. 44-61.

Restrepo, J.; Park, R.; and Buchanan, A. H., 1995b, “Design of Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames,” *PCI Journal*, V. 40, No. 5, pp. 68-80.

Richart, F. E., 1933, “Reinforced Concrete Column Investigation—Tentative Final Report of Committee 105,” *ACI Journal Proceedings*, V. 29, No. 5, Feb., pp. 275-282.

Richart, F. E.; Brandzaeg, A.; and Brown, R. L., 1929, “The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression,” *Bulletin* No. 190, University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana, IL, Apr., 74 pp.

Rogowsky, D. M., and MacGregor, J. G., 1986, “Design of Reinforced Concrete Deep Beams,” *Concrete International*, V. 8, No. 8, Aug., pp. 46-58.

Roller, J. J., and Russell, H. G., 1990, “Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement,” *ACI Structural Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-Apr., pp. 191-198.

Rose, D. R., and Russell, B. W., 1997, “Investigation of Standardized Tests to Measure the Bond Performance of Prestressing Strand,” *PCI Journal*, V. 42, No. 4, July-Aug., pp. 56-80.

Russell, B. W., and Burns, N. H., 1996, “Measured Transfer Lengths of 0.5 and 0.6 in. Strands in Pretensioned Concrete,” *PCI Journal*, V. 41, No. 5, Sept.-Oct., pp. 44-65.

Rutledge, S., and DeVries, R. A., 2002, “Development of D45 Wire in Concrete,” *Report*, School of Civil and Environmental Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, OK, Jan., 28 pp.

Saatcioglu, M., and Razvi, S. R., 2002, “Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Columns for Confinement,” *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 1, Jan.-Feb., pp. 3-11.

Salmons, J. R., and McCrate, T. E., 1977, “Bond Characteristics of Untensioned Prestressing Strand,” *PCI Journal*, V. 22, No. 1, Jan.-Feb., pp. 52-65.

Sant, J. K., and Bletzacker, R. W., 1961, “Experimental Study of Lateral Stability of Reinforced Concrete Beams,” *ACI Journal Proceedings*, V. 58, No. 6, Dec., pp. 713-736.

Sason, A. S., 1992, “Evaluation of Degree of Rusting on Prestressed Concrete Strand,” *PCI Journal*, V. 37, No. 3, May-June, pp. 25-30.

SBC, 1999, “Standard Building Code,” Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL.

Schlaich, J.; Schafer, K.; and Jennewein, M., 1987, “Toward a Consistent Design of Structural Concrete,” *PCI Journal*, V. 32, No. 3, May-June, pp. 74-150.

Scordelis, A. C., 1990, “Non-Linear Material, Geometric, and Time Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Shells,” *Bulletin*, International Association for Shells and Spatial Structures, Madrid, Spain, No. 102, Apr., pp. 57-90.

Scordelis, A. C.; Lin, T. Y.; and Itaya, R., 1959, “Behavior of a Continuous Slab Prestressed in Two Directions,” *ACI Journal Proceedings*, V. 56, No. 6, Dec., pp. 441-459.

4, July-Aug., pp. 420-433.

Thompson, K. J., and Park, R., 1980, “Seismic Response of Partially *Prestressed Concrete,” Journal* of the Structural Division, ASCE, V. 106, pp. 1755-1775.

Thompson, M. K.; Jirsa, J. O.; and Breen, J. E., 2006a, “CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 2: Capacity of Nodes,” *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 1, Jan.-Feb., pp. 65-73.

Thompson, M. K.; Ledesma, A.; Jirsa, J. O.; and Breen, J. E., 2006b, “Lap Splices Anchored by Headed Bars,” *ACI Structural Journal*, V. 103, No. 2, Mar.-Apr., pp. 271-279.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1996, “Recommended Lateral Force Requirements and Commentary,” sixth edition, Seismology Committee of the Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA, 504 pp.

Shaikh, A. F., and Branson, D. E., 1970, “Non-Tensioned Steel in Prestressed Concrete Beams,” *PCI Journal*, V. 15, No. 1, Feb., pp. 14-36.

Shaikh, A. F., and Yi, W., 1985, “In-Place Strength of Welded Headed Studs,” *PCI Journal*, V. 30, No. 2, Mar.-Apr., pp. 56-81.

Sivakumar, B.; Gergely, P.; and White, R. N., 1983, “Suggestions for the Design of R/C Lapped Splices for Seismic Loading,” *Concrete International*, V. 5, No. 2, Feb., pp. 46-50.

Smith, S. W., and Burns, N. H., 1974, “Post-Tensioned Flat Plate to Column Connection Behavior,” *PCI Journal*, V. 19, No. 3, May-June, pp. 74-91.

Spragg, R.; Castro, J.; Li, W.; Pour-Ghaz, M.; Huang, P.; and Weiss, W. J., 2011, “Wetting and Drying of Concrete in the Presence of Deicing Salt Solutions,” *Cement and Concrete Composites*, V. 33, No. 5, May, pp. 535-542.

Stecich, J.; Hanson, J. M.; and Rice, P. F., 1984, “Bending and Straightening of Grade 60 Reinforcing Bars,” *Concrete International*, V. 6, No. 8, Aug., pp. 14-23.

Stone, W.; Cheok, G.; and Stanton, J., 1995, “Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam-Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading,” *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 2, Mar.-Apr., pp. 229-249.

Sugano, S.; Nagashima, T.; Kimura, H.; Tamura, A.; and Ichikawa, A., 1990, “Experimental Studies on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Members of High Strength Concrete,” *Proceedings, Second International Symposium on High-Strength Concrete*, SP-121, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 61-87.

Taylor, C. P.; Cote, P. A.; and Wallace, J. W., 1998, “Design of Slender RC Walls with Openings,” *ACI Structural Journal*, V. 95, No.

Thompson, M. K.; Ziehl, M. J.; Jirsa, J. O.; and Breen, J. E., 2005, “CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 1: Behavior of Nodes,” *ACI Structural Journal*, V. 102, No. 6, Nov.-Dec., pp. 808-815.

Thomsen, J. H. IV, and Wallace, J. W., 2004, “Displacement-Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls Experimental Verification,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 130, No. 4, pp. 618-630. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:4(618)

Tikka, T. K., and Mirza, S. A., 2006, “Nonlinear Equation for Flexural Stiffness of Slender Composite Columns in Major Axis Bending,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 132, No. 3, Mar., pp. 387-399. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:3(387)

Treece, R. A., and Jirsa, J. O., 1989, “Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcing Bars,” *ACI Materials Journal*, V. 86, No. 2, Mar.-Apr., pp. 167-174.

Vanderbilt, M. D., 1972, “Shear Strength of Continuous Plates,” *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 98, May, pp. 961-973.

Vanderbilt, M. D.; Sozen, M. A.; and Siess, C. P., 1969, “Test of a Modified Reinforced Concrete Two-Way Slab,” *Proceedings*, ASCE, V. 95, No. ST6, June, pp. 1097-1116.

Vanderbilt, M. D., and Corley, W. G., 1983, “Frame Analysis of Concrete Buildings,” *Concrete International*, V. 5, No.12, Dec., pp. 33-43.

Wood, S. L.; Stanton, J. F.; and Hawkins, N. M., 2000, “Development of New Seismic Design Provisions for Diaphragms Based on the Observed Behavior of Precast Concrete Parking Garages during the 1994 Northridge Earthquake,” *PCI Journal*, V. 45, No. 1, Jan.-Feb., pp. 50-65.

Wyllie, L. A. Jr., 1987, “Structural Walls and Diaphragms—How They Function,” *Building Structural Design Handbook*, R. N. White and C. G. Salmon, eds., John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 188-215.

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Vintzileou, E., and Eligehausen, R., 1992, "Behavior of Fasteners under Monotonic or Cyclic Shear Displacements," *Anchors in Concrete: Design and Behavior*, SP-130, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 181-203.

Wallace, J. W., 1996, "Evaluation of UBC-94 Provisions for Seismic Design of RC Structural Walls," *Earthquake Spectra*, V. 12, No. 2, May, pp. 327-348. doi: 10.1193/1.1585883

Wallace, J. W., 2012, "Behavior, Design, and Modeling of Structural Walls and Coupling Beams—Lessons from Recent Laboratory Tests and Earthquakes," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, V. 6, No. 1, pp. 3-18. doi: 10.1007/s40069-012-0001-4

Wallace, J. W., and Orakcal, K., 2002, "ACI 318-99 Provisions for Seismic Design of Structural Walls," *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 4, July-Aug., pp. 499-508.

Wallace, J. W.; Massone, L. M.; Bonelli, P.; Dragovich, J.; Lagos, R.; Lüder, C.; and Moehle, J. P., 2012, "Damage and Implications for Seismic Design of RC Structural Wall Buildings," *Earthquake Spectra*, V. 28, No. S1, June, pp. 281-299. doi: 10.1193/1.4000047

Watson, S.; Zahn, F. A.; and Park, R., 1994, "Confining Reinforcement for Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 120, No. 6, June, pp. 1798-1824. doi: 10.1061/(ASCE)0733 9445(1994)120:6(1798)

Wilson, E. L., 1997, "Three-Dimensional Dynamic Analysis of Structures—With Emphasis on Earthquake Engineering," Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.

Winter, G., 1979, "Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code," *Concrete Design: U.S. and European Practices*, SP-59, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 35-49.

Wire Reinforcement Institute, 2001, "Structural Welded Wire Reinforcement Manual of Standard Practice," sixth edition, Hartford, CT, Apr., 38 pp.

Xanthakis, M., and Sozen, M. A., 1963, "An Experimental Study of Limit Design in Reinforced Concrete Flat Slabs," *Structural Research Series* No. 277, Civil Engineering Studies, University of Illinois, Urbana, IL, Dec., 159 pp.

Yamada, T.; Nanni, A.; and Endo, K., 1991, "Punching Shear Resistance of Flat Slabs: Influence of Reinforcement Type and Ratio," *ACI Structural Journal*, V. 88, No. 4, July-Aug., pp. 555-563.

Yoshioka, K., and Sekine, M., 1991, "Experimental Study of Prefabricated Beam-Column Subassemblages," *Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance*, SP-123, J. O. Jirsa, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 465-492.

Zhang, Y.; Klingner, R. E.; and Graves, H. L. III, 2001,b"Seismic Response of Multiple-Anchor Connections to Concrete," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 6, Nov.-Dec., pp. 811-822.

Zhu, S., and Jirsa, J. O., 1983, "Study of Bond Deterioration in Reinforced Concrete Beam-Column Joints," PMFSEL *Report* No. 83-1, Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX, July.

Zia, P.; Preston, H. K.; Scott, N. L.; and Workman, E. B., 1979, "Estimating Prestress Losses," *Concrete International*, V. 1, No. 6, June, pp. 32-38.

Zia, P., and Hsu, T. T. C., 2004, "Design for Torsion and Shear in Prestressed Concrete Flexural Members," *PCI Journal*, V. 49, No. 3, May-June, pp. 34-38.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Lampiran A
DAFTAR KESEPADANAN ISTILAH
(Informatif)

Tambahan Daftar Kesepadanan Istilah dalam Urutan Alfabetikal Istilah Indonesia-Inggris

Adhesif (*Adhesive*)
Agregat (*Aggregate*)
Agregat, ringan (*Aggregate*, *lightweight*)
Angkur (*Anchor*)
Angkur adhesif (*Angkur adhesif*)
Angkur ekspansi (*Expansion anchor*)
Angkur tanam cor ditempat (*Cast-in anchor*)
Angkur tanam pascacor (*Post-installed anchor*)
Angkur ujung diperlebar (*Undercut anchor*)
Balok sloof (*Grade Beam*)
Baja prategang (*Prestressing steel*)
Baja tarik terjauh (*Extreme tension steel*)
Batang ulir berkepala (*Headed deformed bars*)
Batas regangan terkontrol tekan (*Compression-controlled strain limit*)
Beban, hidup (*Load, live*)
Beban, layan (*Load, service*)
Beban, mati (*Load, dead*)
Beban, terfaktor (*Load, factored*)
Beban, tak terfaktor (*Load, unfactored*)
Berat volume kesetimbangan (*Equilibrium density*)
Beton (*Concrete*)
Beton, kekuatan tekan yang disyaratkan (*Concrete, specified compressive strength of*)
Beton, normal (*Concrete, normalweight*)
Beton, ringan (*Concrete, lightweight*)
Beton, ringan dengan pasir ringan (*Concrete, sand-lightweight*)
Beton, ringan dengan semua agregat ringan (*Concrete, all-lightweight*)
Beton bertulang (*Reinforced concrete*)
Beton bertulangan serat baja (*Steel fiber-reinforced concrete*)
Beton polos (*Plain concrete*)
Beton pracetak (*Precast concrete*)
Beton prategang (*Prestressed concrete*)
Beton struktural (*Structural concrete*)
Daerah angkur (*Anchorage zone*)
Daerah sendi plastis (*Plastic hinge region*)
Dasar struktur (*Base of structure*)
kekuatan ambrol (*Blowout strength*)
kekuatan cabut (*Pullout strength*)
kekuatan jebol (*Breakout strength*)
kekuatan jungkit (*Pryout strength*)
Diafragma (D*iaphragm*)
Dinding (*Wall*) Dinding struktural (*Structural wall*)
Dinding beton polos struktur biasa (*Ordinary structural plain concrete wall*)
Dinding struktural beton bertulang biasa (*Ordinary reinforced concrete structural wall*)
Dinding struktural khusus (*Special structural wall*)
Dinding struktural pracetak menengah (*Intermediate precast structural wall*)
Distributor (*Distributors*)
Dokumen kontrak (*Contract documents*)
Dokumen konstruksi (*Construction documents*)
Elemen batas (*Boundary element*)
Elemen batas dinding (B*oundary walls*)
Elemen batas khusus (*Special boundary element*)
Elemen kolektor (*Collector element*)
Fondasi (*Foundation*)
Fondasi gabungan (*Combined Footings*)
Fondasi lajur (*Strip Footings*)
Fondasi rakit (*Mat Foundation*)
Fondasi setempat (*Isolated Footings*)
Fondasi telapak (*Footings*)
Fondasi tiang (*Piles*)
Fondasi tiang bor (*Drillled piles*)
Fondasi tiang pancang (*Driven piles*)
Friksi kurvatur (*Curvature friction*)
Friksi wobel (*Wobble friction*)
Gaya jacking (*Jacking force*)
Ikat silang (*Crosstie*)
Impak (*Impact*)
Joint (*Joint*)
Joint isolasi (*Isolation joint*)
Joint kontraksi (*Contraction joint*)
Kait seismik (*Seismic hook*)
Kategori desain seismik (*Seismic design category*)
Kekuatan, desain (*Strength, design*)
Kekuatan, nominal (*Strength, nominal*)
Kekuatan, perlu (*Strength, required*)
Pihak yang berwenang (*Autority having jurisdiction*)
Pihak yang berwenang (*Building official*)
Pratarik (*Pretensioning*)

© BSN 2019

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Kekuatan leleh (*Yield strength*)
Kekuatan tarik belah (*Splitting tensile strength*)
Kepala Kolom (*Capital*)
Kolom (*Column*)
Kolektor (*Collectors*)
Konektor geser (*shear connector*)
Kombinasi beban desain (*Design load combination*)
Komponen struktur lentur beton komposit (*Composite concrete flexural members*)
Material campuran tambahan (*Admixture*)
Material sementisius (*Cementitious materials*)
Modulus elastisitas (*Modulus of elasticity*)
Panel drop (*Drop panel*)
Panjang bentang (*Span length*)
Panjang penanaman (*Embedment length*)
Panjang penyaluran (*Development length*)
Panjang transfer (*Transfer length*)
Pascatarik (*Post-tensioning*)
Pedestal (*Pedestal*)
Pekerjaan (*Work*)
Penampang terkontrol tarik (*Tension-controlled section*)
Penampang terkontrol tekan (*Compression-controlled section*)
Pengelupasan beton (*Spalling*)
Pengunci geser (*Shear keys*)
Penutup geser (*Shear cap*)
Perancah (*Shores*)
Perancah ulang (*Reshores*)
Perangkat angkur (*Anchorage device*)
Perangkat angkur khusus (*Special anchorage device*)
Perangkat angkur strand majemuk dasar (*Basic multistrand anchorage device*)
Perangkat angkur strand tunggal dasar (*Basic monostrand anchorage device*)
Peraturan umum gedung (*General building code*)
Perencana ahli bersertifikat (*Licensed design professional*)
Perpindahan desain (*Design displacement*)
Pilar dinding (*Wall pier*)
Pile cap (*Pile cap*)
Prategang efektif (*Effective prestress*)
Rangka batang struktural (*Structural truss*)
Rangka momen (*Moment frame*)
Rasio drift tingkat desain (*Design story drift ratio*)
Regangan tarik netto (*Net tensile strain*)
Sambungan (*Connection*)
Sambungan daktail (*Ductile connection*)
Sambungan kuat (*Strong connection*)
Sambungan lewatan (*Lap Splices*)
Segmen horizontal dinding (*Horizontal wall segment*)
Segmen vertikal dinding (*Vertical wall segment*)
Selimut beton (*Cover*)
Selongsong (*Duct*)
Selongsong (*Sleeve*)
Selubung (*Sheathing*)
Sengkang (*Stirrup*)
Sengkang ikat (*Ties*)
Sengkang pengekang (*Hoop*)
Sisipan khusus (*Speciality insert*)
Sistem pemikul gaya seismik (*Seismic-force-resisting system*)
Sistem rangka pemikul momen biasa (*Ordinary moment frame*)
Sistem rangka pemikul momen khusus (*Special moment frame*)
Sistem rangka pemikul momen menengah (*Intermediate moment frame*)
Tegangan (*Stress*)
Tendon (*Tendon*)
Tendon terlekat (*Bonded tendon*)
Tendon tanpa lekatan (*Unbonded tendon*)
Tinggi efektif penampang (*Effective depth of section*) (d)
Transfer (*Transfer*)
Tulangan (*Reinforcement*)
Tulangan kawat las (*Welded wire reinforcement*)
Tulangan polos (*Plain reinforcement*)
Tulangan spiral (*Spiral reinforcement*)
Tulangan stud geser berkepala (*Headed shear stud reinforcement*)
Tulangan ulir (*Deformed reinforcement*)
Zona tarik pratekan (*Precompressed tensile zone*)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

Lampiran B
DAFTAR DEVIASI TEKNIS SNI 2847 TERHADAP ACI 318M
(Informatif)

Uraian/Pasal/Subpasal	Modifikasi
Pasal 1.2.3	Redaksinya dirubah karena perbedaan penggunaan satuan dan penjelasan pasal R1.2.3 dihapus karena tidak relevan
Pasal 1.2.4	Pernyataan pada pasal ini dihapus karena tidak relevan
Pasal 2.3	Istilah-istilah dalam pasal 2.3 Terminologi disusun ulang sesuai urutan alfabetikal istilah dalam Bahasa Indonesia untuk memudahkan pengguna
Pasal 3.2.6	Tambahan pasal (pasal 3.2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI)) berisi daftar standar rujukan SNI yang dirujuk dalam standar ini.
Pasal 5.3.10	Penyataan terkait beban S (salju) dihapus karena tidak relevan
Pasal 19.3.3 Subpasal 19.3.3.1 hingga 19.3.3.4	Bagian terkait persyaratan tambahan untuk paparan beku-cair karena tidak relevan untuk kondisi Indonesia
Lampiran A Daftar Kesepadanan Istilah	Perubahan “Lampiran A”, untuk tambahan Daftar Kesepadanan Istilah dalam Urutan Alfabetikal Istilah Indonesia-Inggris (dicantumkan dalam Daftar Deviasi)
Lampiran B	Perubahan “Lampiran B”, untuk menunjukan deviasi/penyimpangan dari ACI 318M-14

“Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan”

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan.

[2] Susunan keanggotaan Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Ketua : Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
Wakil Ketua : Ir. Lutfi Faizal
Sekretaris : Dany Cahyadi, ST, MT
Anggota :
1. Ir. RG Eko Djuli Sasongko, MM
2. Prof. Dr. Ir. Suprapto, M.Sc, FPE, IPM
3. Dr.Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng
4. Ir. Asriwiyanti Desiani, MT
5. Ir. Felisia Simarmata
6. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
7. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
8. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D

[3] Konseptor rancangan SNI

Tim Teknis Revisi SNI 2847:2013

NO.	NAMA	INSTANSI
Ketua Tim Teknis Revisi SNI 2847:2013		
1	Prof. Ir. Iswandi Imran, MASc., Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
Sekretaris Tim Teknis Revisi SNI 2847:2013		
2	Dr. Eng. Aris Aryanto, MT	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
Anggota Tim Teknis Revisi SNI 2847:2013		
3	Muhammad Riyansyah, ST, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
4	Erwin Lim, ST, MS, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
5	Patria Kusumaningrum, ST, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
6	Dr. Eng. Eko Yuniarsyah, ST, MT	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
7	Ferri Eka Putra, ST., MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
8	Ir. Lutfi Faizal	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
9	Ir. Maryoko Hadi, Dipl.E.Eng, MT	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
10	Ir.Sutadji Yuwasdiki,Dipl.E.Eng	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
11	Ir. Wahyu Wuryanti, M.Sc	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
12	Tedi Achmad Bahtiar, ST, MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
13	Adhi Yudha Mulia, ST, MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
14	Muhammad Rusli, ST, MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
15	Ir. Suradjin Sutjipto, M.S.	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Trisakti/ Suradjin Sutijpto Inc. (SSI)
16	Dr. Ir. Djoni Simanta, MT	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
17	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"

NO.	NAMA	INSTANSI
18	Prof. Dr. Ir. Han Ay Lie, M.Eng	Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
19	Dr.-Ing.Ir. Andreas Triwiyono	Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM)
20	Dr. Ir. Hanafiah , MS	Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
21	Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D.	F.T. Sipil & Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
22	Ir. Mudji Irmawan, MS	F.T. Sipil & Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
23	Dr. Asdam Tambusay, ST	F.T. Sipil & Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
24	Dr. Wahyuniarsih Sutrisno, ST., MT.	F.T. Sipil & Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
25	Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST	F.T. Sipil & Lingkungan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
26	Dr. I Ketut Sudarsana, ST, Ph.D.	Fakultas Teknik Sipil – Universitas Udayana
27	Dr.-Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.	Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
28	Dr. Eng. Rudi Djamaluddin, ST, M.Eng.	Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Tim Kebijakan Revisi SNI 2847:2013

NO.	NAMA	INSTANSI
1	Prof. (R) Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES.	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kem.PUPR
2	Prof. Ir. Bambang Budiono, ME., Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
3	Dradjat Hoedajanto, STSi., M.Eng., Ph.D.	Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)
4	Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
5	Ir. Steffie Tumilar, M.Eng. MBA. IP-U	Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)
6	Ir. Davy Sukamta, IP-U	Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)
7	Ir. Benjamin Lumantarna, M.Eng, Ph.D, IP-U	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
8	Prof. Ir. Bambang Suryoatmono, Ph.D	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
9	Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D.	Departemen Teknik Sipil, Fakultas Tekik, Universitas Gadjah Mada (UGM)

[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI

Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

"Hak cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub KT 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur & Konstruksi Bangunan, dan tidak untuk dikomersialkan"