

Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang

by iranazahirah@gmail.com 1

Submission date: 04-Feb-2022 11:42AM (UTC+0500)

Submission ID: 1754722737

File name: 05._Panduan_desain_sederhana_untuk_bangunan_beton.pdf (4.61M)

Word count: 89713

Character count: 491178



UNIVERSITAS PERSADA INDONESIA Y.A.I FAKULTAS TEKNIK

Kampus D : Jl. Salemba Raya 7/9 A Jakarta 10340, Indonesia
Telp : (021) 3914075-76-81, Fax : (021) 3147910
Website : www.yai.ac.id, E-mail : fti.upi@yai.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 013/ST/FT UPI Y.A.I/II/2020

Yang bertandatangan dibawah ini Dekan Fakultas Teknik Universitas Persada Indonesia Y.A.I, dengan ini menugaskan kepada :

No	Nama Dosen	Program Studi
1	Dr. Ir. Hari Nugraha. MT	Magister Teknik Sipil FT UPI Y.A.I

Menulis Buku Panduan Desain Sederhana Untuk Bangunan Beton Bertulang yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional ISBN ICS 91.080.01

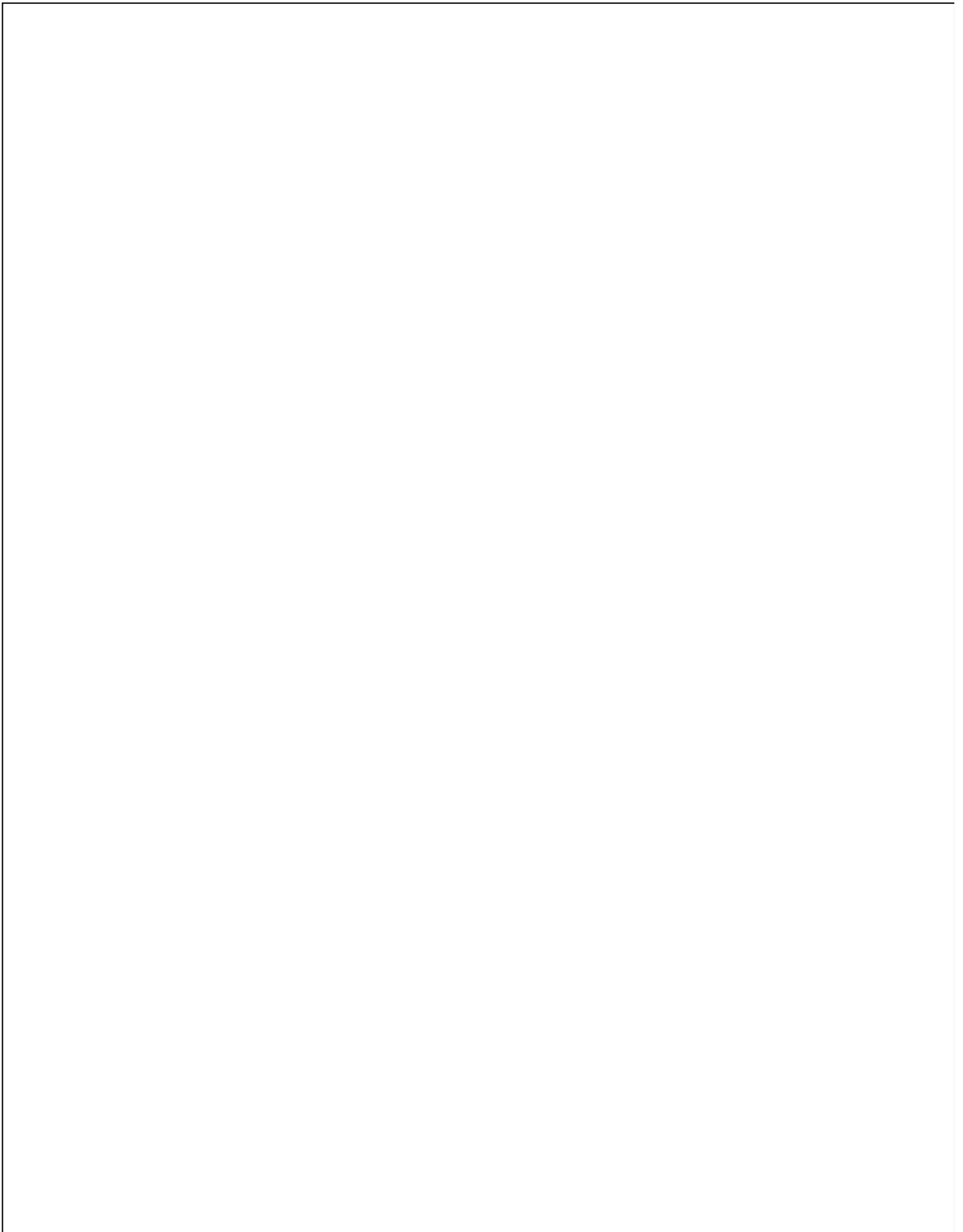
Demikianlah surat Tugas ini kami sampaikan untuk diketahui dan dilaksanakan sebagaimana mestinya

Jakarta, 4 Februari 2020
Fakultas Teknik
Universitas Persada Indonesia Y.A.I
Dekan

Dr. Ir. Fitri Suryani., MT

Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang

(ACI 314R-16, MOD)



"This Standard is modified to ACI 314R-16, Guide to Simplified Design for Reinforced Concrete Buildings, 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 8900:2020, 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.



1 Daftar isi

Daftar isi.....	i
Daftar tabel	v
Daftar gambar	vii
Prakata	xii
Pendahuluan.....	xiii
BAB 1 – UMUM	1
1.1 – Lingkup	1
1.2 – Tujuan	1
1.3 – Batasan	1
1.4 – Peraturan dan standar pendukung	3
1.5 – Prosedur desain dan konstruksi	3
1.6 – Keadaan Batas	8
1.7 – Desain kekuatan.....	8
1.8 – Desain terhadap kemampuan layan	9
BAB 2 – NOTASI DAN DEFINISI	10
2.1 – Notasi	10
2.2 – Definisi.....	16
BAB 3 – TATA LETAK SISTEM STRUKTUR.....	24
3.1 – Deskripsi komponen struktur	24
3.2 – Umum	24
3.3 – Tata letak struktur.....	25
3.4 – Kelayakan penggunaan panduan ini	27
BAB 4 – BEBAN	28
4.1 – Umum	28
4.2 – Faktor beban dan kombinasi beban	28
4.3 – Masa dan berat	29
4.4 – Masa jenis bahan	29
4.5 – Beban mati	30
4.6 – Beban hidup	36
4.7 – Beban hidup atap	37
4.8 – Beban hujan	37
4.9 – Beban salju (tidak relevan).....	37
4.10 – Beban angin	37
4.11 – Beban seismik	39
4.12 – Berat tanah dan tekanan lateral	41
4.13 – Beban lateral	42
4.14 – Sistem Pemikul Gaya Lateral	45
4.15 – Jumlah minimum dinding struktural beton bertulang	48
BAB 5 – INFORMASI UMUM STRUKTUR BETON BERTULANG	51
5.1 – Lingkup.....	51
5.2 – Material beton bertulang.....	51

SNI 8900:2020

5.3	– Diameter batang tulangan minimum dan maksimum	52
5.4	– Tebal selimut beton	53
5.5	– Pembengkokan tulangan.....	54
5.6	– Dimensi kait standar	55
5.7	– Ukuran maksimum agregat kasar.....	56
5.8	– Panjang penyaluran, splais lewatan, dan pengangkuran tulangan	56
5.9	– Tulangan longitudinal	58
5.10	– Tulangan transversal	58
5.11	– Lentur	59
5.12	– Beban aksial dengan atau tanpa lentur	61
5.13	– Geser	63
5.14	– Kekuatan tumpu	65
BAB 6	– SISTEM LANTAI	66
6.1	– Jenis sistem lantai	66
6.2	– Pemilihan sistem lantai	73
6.3	– Integritas struktural	73
6.4	– Alur beban satu arah dan dua arah	74
6.5	– Tebal minimum untuk elemen sistem lantai.....	74
6.6	– Dimensi awal untuk sistem lantai.....	76
6.7	– Finishing Lantai	77
6.8	– Saluran, lubang menerus, bukaan, dan perpipaan yang tertanam.....	77
BAB 7	– SLAB SOLID TERTUMPU DI ATAS GIRDER, BALOK, JOIST, ATAU DINDING BETON BERTULANG.....	79
7.1	– Umum	79
7.2	– Beban	79
7.3	– Detail penulangan	79
7.4	– Kekuatan geser	84
7.5	– Slab di antara joist	84
7.6	– Kantilever slab yang ditumpu girder, balok, atau dinding	85
7.7	– Slab solid bentang tunggal satu arah yang membentang di antara girder, balok, atau dinding beton bertulang	87
7.8	– Slab solid satu arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang dengan dua bentang atau lebih	89
7.9	– Slab solid dua arah yang membentang di antara girder, balok, atau dinding beton bertulang	92
BAB 8	– GIRDER, BALOK, DAN JOIST.....	103
8.1	– Umum	103
8.2	– Beban	103
8.3	– Jenis tulangan	105
8.4	– Tulangan longitudinal	106
8.5	– Tulangan transversal	114
8.6	– Joist dan balok yang dipikul oleh girder.....	120
8.7	– Girder yang merupakan bagian dari suatu rangka	124
BAB 9	– SISTEM KOLOM SLAB.....	131
9.1	– Umum	131

9.2	– Beban	131
9.3	– Batasan dimensi	131
9.4	– Detail penulangan	133
9.5	Kuat Geser	136
9.6	– Tebal slab minimum yang diperlukan untuk geser pons	138
9.7	– Tebal slab minimum yang diperlukan untuk aksi balok	139
9.8	– Lentur	140
9.9	– Perhitungan reaksi tumpuan	145
BAB 10 – KOLOM		146
10.1	– Umum	146
10.2	– Pembebanan	146
10.3	– Batasan dimensi	146
10.4	– Detail Tulangan	148
10.5	– Lentur	154
10.6	– Geser	155
10.7	– Perhitungan reaksi fondasi	157
BAB 11 – KETAHANAN SEISMIK		158
11.1	– Detail tulangan khusus untuk zona seismik	158
11.2	– Interaksi dengan elemen nonstruktural	169
BAB 12 – DINDING BETON BERTULANG		171
12.1	– Umum	171
12.2	– Beban	171
12.3	– Batas Dimensi	173
12.4	– Detail Penulangan	174
12.5	– Lentur	176
12.6	– Geser	177
12.7	– Perhitungan reaksi di fondasi	178
12.8	– Dinding inti	178
BAB 13 – ELEMEN STRUKTUR LAINNYA		181
13.1	– Tangga dan ramp	181
13.2	– Tangki air kecil (untuk penyimpanan air minum)	184
BAB 14 – FONDASI		186
14.1	– Penyelidikan tanah	186
14.2	– Kapasitas daya dukung tanah izin	186
14.3	– Kriteria penurunan	188
14.4	– Dimensi komponen struktur fondasi	188
14.5	– Fondasi tapak setempat	188
14.6	– Fondasi untuk dinding	196
14.7	– Fondasi tapak gabungan	198
14.8	– Fondasi tiang dan <i>caisson</i>	200
14.9	– Fondasi tapak di atas fondasi tiang	200
14.10	– Fondasi rakit (<i>mat</i>)	200
14.11	– Dinding penahan tanah	203
14.12	Balok sloof (balok fondasi)	210

SNI 8900:2020

14.13– Pelat di atas tanah	211
BAB 15 – GAMBAR DAN SPESIFIKASI	213
15.1 – Umum	213
15.2 – Gambar struktural	213
15.3 – Spesifikasi proyek.....	215
BAB 16 – KONSTRUKSI.....	217
16.1 – Pendahuluan	217
16.2 – Proporsi campuran beton	219
16.3 – Penempatan tulangan	222
16.4 – Campuran beton dan transportasi	223
16.5 – Evaluasi kekuatan beton	226
16.6 – Perawatan beton	227
16.7 – Pembongkaran cetakan.....	228
16.8 – Inspeksi	229
BAB 17 – REFERENSI	230
LAMPIRAN A – PERBANDINGAN SNI 314 DENGAN SNI 2847, INTERNATIONAL BUILDING CODE (2015), SNI 1726, DAN SNI 1727	232
LAMPIRAN B - Penunjang desain	237
LAMPIRAN C- DAFTAR DEVIASI SNI PANDUAN DESAIN SEDERHANA UNTUK BANGUNAN BETON BERTULANG TERHADAP ACI 314R-16	273
Informasi pendukung terkait perumus standar	275

Daftar tabel

Tabel 1.3.1.1 – Hunian dan penggunaan yang diizinkan.....	3
Tabel 1.5.1 – Langkah-langkah prosedur desain dan konstruksi	5
Tabel 4.5.3.1a – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: langit-langit.....	31
Tabel 4.5.3.1b – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: isian lantai	31
Tabel 4.5.3.1c – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: lantai	31
Tabel 4.5.3.1d – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: penutup atap	32
Tabel 4.5.3.2a – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: penutup dinding	33
Tabel 4.5.3.2b – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: partisi ringan	34
Tabel 4.5.3.2c – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: <i>vener</i>	34
Tabel 4.5.3.2d – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: dinding	35
Tabel 4.5.3.2e – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: jendela	35
Tabel 4.5.3.3 – Nilai beban mati minimum alternatif untuk elemen nonstruktural apabila tidak dilakukan analisis detail	36
Tabel 4.6 – Beban hidup terdistribusi merata minimum	37
Tabel 5.2.5.1 – Ukuran batang tulangan baja sirip	52
Tabel 5.2.6 – Standar rujukan untuk bahan campuran tambahan (<i>admixture</i>)	52
Tabel 5.3 – Diameter minimum dan maksimum untuk batang tulangan yang digunakan di dalam struktur beton bertulang	53
Tabel 5.4.1 – Tebal minimum selimut beton terhadap tulangan.....	54
Tabel 5.5 – Diameter bengkokan minimum	55
Tabel 5.6 – Deskripsi dan dimensi kait standar	55
Tabel 5.11.4.2 – Rasio tulangan lentur maksimum ρ_{max} untuk slab solid	60
Tabel 6.5.2.2 – Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan	75
Tabel 6.5.2.3 – Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan	75
Tabel 6.5.3.1 – Tinggi balok minimum h untuk girder, balok dan joist satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan.....	75
Tabel 6.5.3.2 – Tinggi balok minimum h for girder, balok dan joist satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan.....	75
Tabel 6.5.5a – Tebal minimum slab untuk sistem kolom-slab yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan	75
Tabel 6.5.5b – Tebal minimum sistem kolom-slab yang menumpu elemen non struktural yang sensitif terhadap lendutan.....	77
Tabel 7.7.2 – Kekuatan momen perlu untuk pelat bentang tunggal satu arah	88
Tabel 7.8.2 – Kekuatan momen perlu untuk pelat satu arah dengan dua bentang atau lebih	91
Tabel 7.8.4 – Kekuatan geser perlu untuk pelat satu arah dengan dua bentang atau lebih .	91
Tabel 7.9.2a – Panel interior pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2d)	96
Tabel 7.9.2b – Panel tepi dengan ℓ_a sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2e).....	97

Tabel 7.9.2c – Panel tepi dengan $\#b$ sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2f).....	98
Tabel 7.9.2d – Panel sudut pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2g).....	99
Tabel 8.3.1a – Tipe tulangan longitudinal dalam girder, balok, dan joist.....	105
Tabel 8.3.1b – Tipe tulangan transversal dalam girder, balok, dan joist.....	105
Tabel 8.4.3.1 – Jumlah tulangan longitudinal maksimum dalam satu lapis untuk girder dan balok.....	107
Tabel 8.4.6 – Rasio tulangan lentur maksimum ρ_{max} untuk girder dan balok.....	109
Tabel 8.4.9.2 – Nilai d/d' minimum untuk tulangan tekan agar efektif.....	110
Tabel 8.5.4.5 – Tulangan geser dalam girder, balok, dan joist, spasi s maksimum.....	119
Tabel 8.6.3.2 – Momen terfaktor untuk balok dan joist bentang tunggal.....	121
Tabel 8.6.3.2 – Momen terfaktor untuk balok dan joist satu arah dengan dua bentang atau lebih.....	122
Tabel 8.6.4.3 – Gaya geser terfaktor untuk balok dan joist satu arah dengan dua bentang atau lebih.....	123
Tabel 8.7.3.1 – Momen terfaktor untuk girder yang merupakan bagian dari rangka.....	127
Tabel 8.7.4.1 – Gaya geser terfaktor untuk girder yang merupakan bagian dari rangka.....	127
Tabel 10.4.2.11 – Jumlah maksimum tulangan longitudinal di setiap sisi kolom persegi panjang.....	152
Tabel 10.4.2.11 – Jumlah maksimum tulangan longitudinal di kolom bundar.....	152
Tabel 14.2.3 – Kapasitas daya dukung maksimum izin.....	188
Tabel 14.11.2.2 – Nilai tipikal ϕ_s untuk tanah pasir kering terdiri terutama dari quartz.....	204
Tabel 14.11.7.1 – Tekanan tanah aktif lateral desain minimum γKa	206
Tabel 14.11.12 – Kekuatan momen dinding penahan tanah basement yang dibutuhkan per satuan panjang dinding.....	209
Tabel 16.2.1 – Pengaruh terhadap atribut beton akibat peningkatan komponen campuran tunggal.....	219
Tabel 16.2.2.4 – Properti beton untuk berbagai kondisi paparan.....	221
Tabel 16.2.2.6 – Kadar ion klorida maksimum untuk perlindungan tulangan terhadap korosi.....	221
Tabel 16.2.4 – Batas <i>slump</i> untuk berbagai jenis konstruksi.....	222
Tabel 16.3.4.1 – Toleransi untuk tinggi dan tebal selimut minimum.....	223
Tabel 16.6.1 – Waktu perawatan.....	228
Tabel 16.7a – Waktu minimum untuk pembongkaran cetakan.....	228
Tabel 16.7b – Kekuatan beton agar cetakan aman untuk dibongkar.....	229
Tabel A.1 – Bab SNI 314 yang memiliki kesesuaian dengan bab di dalam peraturan dan standar lain.....	232

Daftar gambar

Gambar 1.3.10 – Tata letak elevasi struktur secara umum	2
Gambar 1.5.1a – Prosedur desain dan konstruksi	6
Gambar 1.5.1b – Prosedur desain dan konstruksi untuk daerah gempa	7
Gambar 3.3.1 – Denah umum struktur rencana	26
Gambar 3.3.2 – Tata letak struktur lantai tipikal	26
Gambar 4.13.2.3 – Reaksi lateral akibat tekanan tanah.....	42
Gambar 4.13.3 – Perhitungan gaya geser tingkat dan gaya geser dasar	43
Gambar 4.13.4 – Perhitungan momen overturning	44
Gambar 4.13.5 – Torsi tingkat	45
Gambar 4.14.14 – Sistem struktur pemikul gaya lateral	46
Gambar 4.14.5 – Perhitungan pusat kekakuan lateral lantai	47
Gambar 4.15.4.2a – Gaya geser dan momen lateral kolom pada rangka	50
Gambar 4.15.4.2b – Momen gaya lateral girder pada rangka	50
Gambar 5.7 – Ukuran maksimum nominal agregat kasar	56
Gambar 5.8.1.1 – Panjang penyaluran batang tulangan dan batang tulangan dengan kait standar	57
Gambar 5.8.1.2 – Panjang penyaluran tulangan kawat dilas	57
Gambar 5.8.2.1 – Splais lewatan minimum untuk batang tulangan	57
Gambar 5.8.2.2 – Splais lewatan minimum untuk tulangan kawat dilas	57
Gambar 5.8.3 – Jarak minimum angkur dengan kait standar	58
Gambar 5.11.3 – Dimensi desain untuk kekuatan momen desain	59
Gambar 5.11.4.1 – Kekuatan momen lentur nominal	59
Gambar 5.12.4.1 – Properti penampang untuk perhitungan kuat rencana kondisi seimbang untuk kolom berpenampang persegi panjang dan dinding beton bertulang	61
Gambar 5.12.4.2 – Properti penampang untuk perhitungan kuat rencana kondisi seimbang untuk kolom dengan tulangan spiral	62
Gambar 5.12.8 – Diagram interaksi untuk (ϕM_n , ϕP_n)	63
Gambar 5.12.8 – Kolom yang dibebani lentur biaksial	63
Gambar 5.13.1 – Geser pada penampang balok dan geser pons	64
Gambar 6.1.2.1 – Sistem lantai slab di atas girder	66
Gambar 6.1.2.1.1a – Penggunaan balok antara satu arah pada sistem lantai slab di atas girder	66
Gambar 6.1.2.1.1b – Penggunaan balok antara dua arah pada sistem lantai slab di atas girder	67
Gambar 6.1.3.1a – Sistem joist lantai	68
Gambar 6.1.3.1b – Batasan dimensi joist	68
Gambar 6.1.3.2 – Rusuk pendistribusi	69
Gambar 6.1.3.3 – Sistem joist dua arah atau sistem slab wafel pada balok	69
Gambar 6.1.4.2 – Kegagalan geser pons	70
Gambar 6.1.4.3 – Sistem pelat datar	71
Gambar 6.1.4.4a – Panel drop	71
Gambar 6.1.4.4b – Kapital kolom	71

Gambar 6.1.4.4c – Kapital kolom dan panel drop.....	72
Gambar 6.1.4.4d – Dimensi minimum panel drop.	72
Gambar 6.1.4.5 – Slab wafel	73
Gambar 6.8.2.2 – Lokasi saluran dan pipa yang menembus girder, balok dan joist secara horizontal.	78
Gambar 7.3.3.3 – Spasi maksimum antar tulangan-tulangan susut dan temperatur dalam slab.	80
Gambar 7.3.4.1 – Spasi maksimum antar tulangan lentur dalam slab solid.....	80
Gambar 7.3.4.2 – Penampang slab.	81
Gambar 7.3.8 – Penulangan sudut slab.	83
Gambar 7.3.9 – Tulangan kawat dilas dalam bentang satu arah pendek.....	83
Gambar 7.4.2 – Kontribusi beton pada kekuatan geser aksi-balok dalam slab solid.	84
Gambar 7.5.2 – Penulangan slab solid atas yang membentang di antara joist.....	85
Gambar 7.6.2 – Perhitungan momen negatif pada kantilever slab.	86
Gambar 7.6.3.1 – Tulangan untuk kantilever slab.	86
Gambar 7.6.3.4 – Tulangan momen negatif pada kantilever slab dua arah.	87
Gambar 7.7.3.1 – Tulangan untuk slab satu arah bentang tunggal.....	88
Gambar 7.8.3.1a – Tulangan untuk slab satu arah dua bentang yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang	89
Gambar 7.8.3.1b – Tulangan untuk slab satu arah yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang dengan tiga bentang atau lebih.....	90
Gambar 7.9.1 – Area pusat dan perbatasan untuk slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	92
Gambar 7.9.2a – Momen negatif pada ujung tak menerus pada slab solid dua arah di atas girder.....	93
Gambar 7.9.2b – Variasi momen M_a di sepanjang lebar penampang kritis untuk desain, slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	93
Gambar 7.9.2c – Variasi momen M_b di sepanjang lebar penampang kritis untuk desain, slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	94
Gambar 7.9.2d – Panel interior pelat dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	94
Gambar 7.9.2e – Panel ujung dengan l_a sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	95
Gambar 7.9.2f – Panel ujung dengan l_b sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	95
Gambar 7.9.2g – Panel sudut slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	95
Gambar 7.9.3.1 – Tulangan slab dua arah yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang.	100
Gambar 7.9.4a – Fraksi beban total dalam panel yang bekerja dalam setiap arah dalam slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	102
Gambar 7.9.4b – Luas tributari untuk gaya geser minimum pada tumpuan slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.	102
Gambar 8.3.1 – Jenis-jenis tulangan utama untuk girder, balok, dan joist.	105
Gambar 8.4.2.1 – Spasi bersih minimum antara tulangan-tulangan dalam satu lapis dan jarak bersih antara lapisan-lapisan tulangan.	106

Gambar 8.4.5a – Penampang persegi dan penampang T dengan sayap dalam kondisi tekan.	108
Gambar 8.4.5b – Penampang T dengan sayap dalam kondisi tarik.	108
Gambar 8.4.6 – Penampang dengan tulangan tarik dan tekan.	108
Gambar 8.4.8.2 – Dimensi desain untuk kekuatan momen: dengan tulangan tarik saja.	109
Gambar 8.4.9.3 – Dimensi desain untuk kekuatan momen: penampang dengan tulangan tekan.	110
Gambar 8.4.10.1 – Lebar sayap efektif untuk balok T dengan pelat di kedua sisinya.	111
Gambar 8.4.10.2 – Lebar sayap efektif untuk balok T dengan pelat hanya di satu sisi.	111
Gambar 8.4.10.3 – Lebar sayap efektif untuk balok T terisolasi.	111
Gambar 8.4.10.4 – Penampang efektif untuk perhitungan kekuatan momen balok T.	112
Gambar 8.4.12 – Tulangan longitudinal samping untuk girder, balok, dan joist dengan $h > 36$ in. (900 mm).	113
Gambar 8.5.2a – Bentuk-bentuk sengkang tipikal untuk girder dan balok.	115
Gambar 8.5.2b – Bentuk-bentuk sengkang tipikal untuk joist, sebagai tambahan Gambar 8.5.2a.	115
Gambar 8.5.3 – Spasi sengkang tipikal di sepanjang girder, balok, atau joist.	116
Gambar 8.5.4.3 – Kontribusi beton terhadap kekuatan geser aksi-balok dalam girder, balok, dan joist.	117
Gambar 8.5.4.5 – Tulangan geser minimum dalam girder, balok, dan joist jika $(\phi V_c/2 \leq V_u < \phi V_c)$.	118
Gambar 8.5.4.6 – Perhitungan diagram gaya geser pada girder, balok, dan joist.	119
Gambar 8.5.5 – Penulangan penggantung.	120
Gambar 8.6.5.1 – Penulangan untuk balok dan joist yang disokong oleh balok atau girder.	123
Gambar 8.7.2.2 – Batasan tinggi dan lebar girder.	125
Gambar 8.7.5.1a – Tulangan dalam girder yang merupakan bagian dari rangka penahan momen yang dipikul oleh kolom atau dinding beton bertulang.	128
Gambar 8.7.5.1b – Tulangan dalam gelagar yang merupakan bagian dari rangka perimeter.	128
Gambar 8.7.6.2 – Momen tak terbalans girder yang ditransfer ke kolom.	129
Gambar 8.7.6.3 – Jenis-jenis joint untuk penentuan momen kolom.	130
Gambar 9.3.2 – Setrip Kolom dan Setrip Tengah.	132
Gambar 9.3.9.3 – Pengaruh bukaan (opening) pada slab.	133
Gambar 9.4.1 – Detail penulangan slab.	134
Gambar 9.4.2.6 – Panjang minimum penulangan slab pada sistem kolom slab.	135
Gambar 9.5.4.2 – Definisi b_o .	137
Gambar 9.5.5 – Kuat geser aksi balok pada slab solid.	138
Gambar 9.6.1 – Area tributari untuk geser pons.	138
Gambar 9.7.2 – Area tributari untuk geser aksi balok.	140
Gambar 9.8.1.1a – Definisi dari setrip desain.	141
Gambar 9.8.1.1b – Momen terfaktor: bentang interior.	142
Gambar 9.8.1.1c – Momen terfaktor: bentang eksterior.	143
Gambar 10.2.1a – Beban dan momen kolom terfaktor dari lantai tunggal satu arah.	146
Gambar 10.2.1b – Momen dan beban kolom terfaktor pada lantai berganda.	147
Gambar 10.3.2.1 – Ukuran minimum potongan penampang untuk kolom persegi.	147

Gambar 10.3.2.2 – Ukuran minimum potongan penampang untuk kolom bundar.	147
Gambar 10.3.3.1 – Tahanan lateral untuk kolom.	148
Gambar 10.3.4 – Potongan penampang efektif kolom monolit dengan dinding.	148
Gambar 10.4.2.6 – Jarak bersih antara tulangan longitudinal pada kolom.	149
Gambar 10.4.2.8a – Susunan penulangan kolom tipikal.	150
Gambar 10.4.2.8b – Susunan penulangan kolom tipikal pada zona seismik tinggi.	151
Gambar 10.4.2.10 – Ofset tulangan longitudinal.	151
Gambar 10.4.3.2a – Susunan horisontal sengkang.	153
Gambar 10.4.3.2b – Spasi vertikal sengkang.	153
Gambar 10.4.3.3 – Penulangan spiral pada kolom.	154
Gambar 10.4.3.4 – Pengikat kolom pada joint kolom girder.	154
Gambar 11.1.2.3 – Spasi sengkang pengeangan.	159
Gambar 11.1.2.4a – Perhitungan ΔV_e	159
Gambar 11.1.2.4b – Perhitungan amplop gaya geser dalam girder.	160
Gambar 11.1.3.3 – Kekuatan momen minimum kolom.	161
Gambar 11.1.3.4a – Spasi sengkang tertutup pengeang dalam kolom.	161
Gambar 11.1.3.4b – Penyusunan kaki-kaki sengkang tertutup (tulangan pengeang) dan pengikat lintas.	162
Gambar 11.1.3.4c – Spasi sengkang tertutup pengeang dalam kolom untuk splais.	162
Gambar 11.1.3.6a – Perhitungan ΔV_e untuk kolom.	164
Gambar 11.1.3.6b – Mpr maksimum untuk kolom yang disyaratkan untuk ΔV_e kolom.	164
Gambar 11.1.4.4a – Penentuan gaya geser joint.	165
Gambar 11.1.4.4b – Definisi A_j untuk girder yang lebih lebar dari lebar kolom.	166
Gambar 11.1.4.4c – Definisi A_j untuk girder dengan lebar lebih kecil dari lebar kolom.	166
Gambar 11.1.5.2 – Dimensi elemen batas.	167
Gambar 11.2.3.1 – Efek kolom pendek.	169
Gambar 11.2.3.2 – Efek kolom pendek.	170
Gambar 12.2.1 – Dinding beton bertulang dengan beban dan momen terfaktor.	172
Gambar 12.2.3 – Perhitungan momen gaya lateral terfaktor.	173
Gambar 12.2.4 – Beban dalam dan keluar bidang.	173
Gambar 12.3.2.1 – Dimensi potongan melintang minimum untuk dinding beton bertulang persegi panjang.	174
Gambar 12.4.2 – Jarak tulangan pada dinding beton bertulang.	175
Gambar 12.4.4.4 – Perhitungan rasio tulangan vertikal.	176
Gambar 12.8.3 – Dinding inti tipikal memperlihatkan kolom sudut tertanam.	179
Gambar 12.8.6 – Prosedur untuk menghitung kekuatan momen dinding inti.	180
Gambar 13.1.3.3 – Tinggi anak tangga maksimum dan tinggi anak tangga beserta lebar anak tangga minimum.	181
Gambar 13.1.4.3 – Detail penulangan tipikal.	183
Gambar 14.5.2.1 – Gaya-gaya yang bekerja pada fondasi tapak setempat.	189
Gambar 14.5.3.6 – Tipe fondasi tapak setempat.	190
Gambar 14.5.4.7 – Distribusi penulangan pada fondasi tapak setempat berbentuk persegi.	191
Gambar 14.5.5.7 – Area tributari untuk geser aksi-balok.	193
Gambar 14.5.6.1 – Penampang kritis untuk momen.	193

Gambar 14.5.6.2 – Perhitungan untuk kekuatan momen perlu.	194
Gambar 14.5.7.3 – Lokasi resultan untuk menghindari gaya angkat pada tapak.....	195
Gambar 14.5.7.5 – Tekanan tanah dengan gaya angkat.	196
Gambar 14.6.2.2 – Geser balok aksi pada fondasi tapak untuk dinding.	197
Gambar 14.6.4a – Fondasi tapak untuk dinding terekstensi dengan penggunaan balok sloof.....	198
Gambar 14.6.4b – Tata letak penulangan balok sloof pada fondasi tapak untuk dinding. ..	198
Gambar 14.7.1 – Tipe-tipe fondasi tapak gabungan.	199
Gambar 14.7.2.3 – Variasi momen pada balok sloof pada fondasi tapak gabungan.	200
Gambar 14.10.1a – Fondasi rakit dengan balok sloof di atas slab lantai.	201
Gambar 14.10.1b – Fondasi rakit dengan balok sloof di bawah slab lantai.	201
Gambar 14.10.3.1 – Tata letak penulangan pada balok.....	202
Gambar 14.11.1 – Tipe-tipe dinding penahan tanah.....	203
Gambar 14.11.12 – Momen lentur desain dan penulangan untuk dinding basement.	209
Gambar 14.12.1.1a – Lokasi balok sloof.	210
Gambar 14.12.1.1b – Gambar potongan balok sloof.....	210
Gambar 16.4.6.2 – Joint konstruksi pada slab, girder, dan balok.....	225

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang *Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang* merupakan SNI yang mengacu pada ACI 314R-16, *Guide to Simplified Design For Reinforced Concrete Buildings* yang digunakan merancang proses rekayasa bangunan bertingkat rendah dalam batasan-batasan tertentu.

Standar ini dipersiapkan oleh Komite Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Bahan Bangunan pada Subkomite Teknis Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. Tata cara penulisan disusun mengikuti Peraturan Kepala BSN Nomor 4 Tahun 2016 tentang Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia (SNI), yang telah dibahas dalam forum Rapat Penetapan pada tanggal 14 November 2019 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Forum rapat penetapan ini dihadiri oleh wakil dari produsen, konsumen, asosiasi, lembaga penelitian, perguruan tinggi dan instansi pemerintah terkait.

Dalam Standar ini terdapat acuan normatif yang telah diadopsi identik menjadi SNI, antara lain:

1. ACI 301 *Specifications for Structural Concrete* diadopsi menjadi SNI 6880:2016 Spesifikasi beton struktural
2. ASTM C31/C31M *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field* diadopsi menjadi SNI 4810:2018 Tata cara pembuatan dan perawatan spesimen uji beton di lapangan
3. ASTM C33/C33M *Standard Specification for Concrete Aggregates* diadopsi menjadi SNI 8321:2016 Spesifikasi agregat beton (ASTM C33/C33M - 13, IDT)
4. ASTM C94/C94M *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* diadopsi menjadi SNI 4433:2016 Spesifikasi beton segar siap pakai (ASTM C94/C94M-14, IDT)
5. ASTM C172/C172M *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete* diadopsi menjadi SNI 2458:2018 Tata cara pengambilan sampel campuran beton segar
6. ASTM C260/C260M *Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete* diadopsi menjadi SNI 2496:2018 Spesifikasi bahan campuran tambahan pembentuk gelembung udara untuk beton (ASTM C260/C260M-10a, IDT)
7. ASTM C330/C330M *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete* diadopsi menjadi SNI 2461:2018 Spesifikasi untuk agregat ringan untuk beton struktural (ASTM C330/C330M-14, IDT)
8. ASTM C567/C567M *Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete* diadopsi menjadi SNI 3402:2018 Metode uji penentuan densitas beton ringan struktural (ASTM C567/C567M-14, IDT)
9. ASTM C1602/C1602M *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete* diadopsi menjadi Spesifikasi air pencampur untuk produksi beton semen (ASTM C1602/C1602M-12, IDT)

Apabila pengguna menemukan keraguan dalam standar ini maka disarankan untuk melihat standar aslinya yaitu ACI 314R-16 dan atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

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.

Pendahuluan

Panduan ini memuat metode yang disederhanakan dan teknik perancangan untuk memfasilitasi dan mempercepat proses rekayasa bangunan bertingkat rendah dalam batasan-batasan tertentu. Bahan-bahan dalam panduan ini disajikan sesuai dengan urutan proses perancangan pada umumnya. Banyak informasi dalam panduan ini diambil dari SNI 2847, SNI 1726 dan SNI 1727. Kualitas dan pengujian material yang digunakan dalam konstruksi tercakup dalam referensi SNI/ASTM yang sesuai.

Banyak tabel, diagram, dan nilai-nilai yang digunakan dalam panduan ini diambil dari referensi tersebut di atas, namun demikian, tabel, diagram, dan nilai-nilai tersebut sudah dimodifikasi atau ditata ulang agar lebih konservatif, sesuai dengan alur proses perancangan, dan untuk lebih mendukung pendekatan perancangan yg menyeluruh dan sederhana.

Walaupun panduan ini tidak ditulis dalam bahas yang mewajibkan pengguna untuk mengikutinya, namun informasi dalam panduan ini disajikan sedemikian rupa sehingga sebuah struktur yang dirancang mengikuti panduan ini pada prinsipnya akan memenuhi peraturan dan standar yang mendasari panduan ini. Panduan ini harus digunakan sebagai satu kesatuan, karena ketentuan-ketentuan yang disederhanakan dalam panduan ini saling terkait dan akan menjadi tidak aman bila digunakan hanya sebagian dan mengabaikan lainnya. Panduan ini bukan merupakan sebuah peraturan dan tidak dianggap memenuhi SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727. Panduan ini diharapkan berguna untuk pendidikan dan pelatihan insinyur muda dalam perancangan struktur beton bertulang bertingkat rendah dengan luas lantai kecil hingga menengah.

Ada banyak opsi dalam standar yang tidak dipertimbangkan dalam panduan ini, seperti penggunaan admikstur dalam campuran beton. Karena panduan ini digunakan sebagai bantuan desain, maka perancang profesional yang berlisensi harus bertanggung jawab memastikan bahwa rancangan struktur memenuhi SNI 2847, SNI 1726, SNI 1727 dan persyaratan lokal. Draft asli dari panduan ini, ACI IPS-1 (2002), dikeluarkan oleh *Joint Committee of Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Colombian Institute for Technical Standards and Certification) (ICONTEC) dan Asociación Colombiana de Ingeniería Sismica (Colombian Association for Earthquake Engineering) (AIS)*.

Penyusunan ACI IPS-1 (2002) didasarkan pada banyak diskusi di seluruh dunia yang menginginkan peraturan beton bertulang yang tidak terlalu rumit untuk beberapa aplikasi tertentu, seperti bangunan kecil bertingkat rendah. Pengetahuan mengenai perilaku struktur beton bertulang saat ini yang diperoleh dari eksperimen dan pengalaman, dan statusnya sebagai material konstruksi di seluruh dunia, membuat pengembangan panduan desain dan konstruksi yang disederhanakan menjadi layak. Panduan ini menggunakan ACI IPS-1 (2002) sebagai dasar, dengan informasi yang diperoleh dari ACI 318, ASCE 7 dan *International Building Code (International Code Council 2015)*.

Panduan ini menyajikan pendekatan yang disederhanakan untuk membantu merancang bangunan bertingkat rendah dengan batasan-batasan tertentu, selain hal-hal sebagai berikut:

- a. informasi mengenai langkah-langkah perancangan
- b. bahan penjelasan pada tempat-tempat yang tepat

SNI 8900:2020

- c. perhitungan cukup menggunakan kalkulator
- d. grafik dan penjelasan grafis
- e. informasi perancangan berdasarkan model kekuatan yang disederhanakan
- f. kondisi batas lainnya yang diperhitungkan oleh dimensi minimum
- g. beban yang konservatif dan panduan analisis yang disederhanakan
- h. informasi geoteknik yang disederhanakan untuk menentukan kapasitas daya dukung tanah
- i. dinding struktur sebagai sistem penahan gaya seismik
- j. panduan material dan konstruksi berdasarkan mutu baja umum tersedia di pasaran dan beton dengan kekuatan sedang yang dapat dibuat di lapangan.

Kata kunci: kualitas beton; desain fondasi; analisis rangka; inspeksi; konstruksi bangunan bertingkat rendah; struktur bertingkat rendah; pencampuran; pengecoran; analisis penampang; desain seismik; desain yang disederhanakan; spesifikasi; desain struktur; tata letak struktur.

Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang

BAB 1 – UMUM

1.1 – Lingkup

Panduan ini dimaksudkan untuk perencanaan, desain, dan konstruksi struktur beton bertulang bangunan baru bertingkat rendah dengan jumlah hunian, jumlah lantai dan luas terbatas. Meskipun informasi yang disajikan pada panduan ini dikembangkan untuk menghasilkan sebuah struktur bertulang dengan margin keselamatan yang sesuai, apabila dipergunakan dengan benar, namun panduan ini bukan merupakan pengganti dari pengalaman dan pengetahuan seorang perancang profesional berlisensi. Agar struktur yang didesain dengan panduan ini mencapai batas keselamatan yang dimaksudkan, panduan ini harus digunakan secara menyeluruh, dan prosedur alternatif harus digunakan hanya jika diizinkan secara eksplisit di sini. Penentuan dimensi minimum yang ditentukan dalam panduan ini, dalam kebanyakan kasus, menggantikan prosedur yang lebih rinci sebagaimana yang ditentukan dalam SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727.

1.2 – Tujuan

Panduan ini memberikan informasi yang memadai kepada seorang perancang profesional berlisensi untuk merancang komponen-komponen struktur beton bertulang yang terdiri dari struktur rangka gedung bertingkat rendah dengan batas yang ditentukan dalam 1.3. Peraturan desain yang ditetapkan dalam panduan ini adalah penyederhanaan, yang ketika digunakan bersamaan, memenuhi persyaratan yang lebih detail dari SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727.

1.3 – Batasan

Panduan ini hanya berlaku untuk bangunan yang memenuhi seluruh batasan dalam 1.3.1 hingga 1.3.10. Batasan-batasan ini mempertahankan ruang lingkup panduan ini sesuai dengan pengalaman kolektif dari komite perancang asli (ICONTEC-AIS). Bangunan dalam ruang lingkup ini diharapkan memiliki tapak persegi panjang yang normal dengan geometri standar sederhana dan dimensi elemen pada denah dan tampak vertikal. Bangunan seperti itu juga tergantung terutama pada dinding beton bertulang struktural untuk menahan beban lateral. Dengan memperhatikan batasan-batasan ini, maka analisis dan metode desain yang disederhanakan dapat dijustifikasi tanpa perlu melakukan analisis khusus, termasuk efek kelangsingan dan efek orde kedua. Gedung dengan *offsets*, sudut dalam (*reentrant corner*), dan ketidakberaturan vertikal dan horizontal tidak termasuk lingkup panduan ini.

1.3.1 Penggunaan dan hunian

1.3.1.1 Penggunaan dan hunian yang diizinkan — Tabel 1.3.1.1 berisi daftar kelompok dan subkelompok hunian gedung, yang diizinkan penggunaan panduan ini.

1.3.1.2 Hunian campuran — Rekomendasi yang dijelaskan dalam panduan ini berlaku untuk kasus-kasus yang hanya melibatkan kombinasi penggunaan yang diizinkan, sebagaimana diidentifikasi dalam Tabel 1.3.1.1.

1.3.2 Jumlah lantai maksimum — Rekomendasi yang dijelaskan dalam panduan ini berlaku untuk gedung dengan lima lantai atau kurang di atas tanah dan tidak lebih dari satu lapis besmen.

1.3.3 Luas per lantai maksimum — Luas per lantai tidak boleh melebihi 1.000 m².

1.3.4 Tinggi lantai maksimum — Tinggi lantai, diukur dari muka lantai ke muka lantai tidak boleh melebihi 4 m.

1.3.5 Panjang bentang maksimum — Panjang bentang untuk girder, balok, dan sistem slab-kolom (tanpa balok), diukur dari as ke as tumpuan, tidak boleh melebihi 10 m.

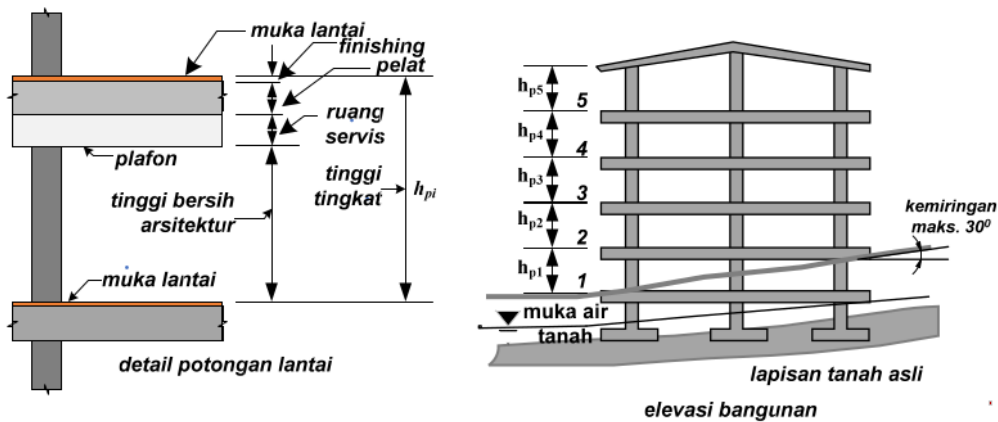
1.3.6 Perbedaan pada panjang bentang maksimum — Panjang bentang-bentang harus mendekati sama, dan bentang yang lebih pendek dari dua bentang yang berdekatan harus paling tidak 80% dari bentang yang lebih panjang, kecuali pada *core* elevator dan *core* tangga. Istilah *core* mengacu pada 7.9.1

1.3.7 Jumlah bentang minimum — Paling tidak harus ada dua bentang pada masing-masing dua arah utama pada denah bangunan. Gedung dengan satu atau dua lantai dapat diijinkan hanya memiliki satu bentang jika panjang bentang tersebut tidak melebihi 5 m.

1.3.8 Panjang kantilever maksimum — Untuk girder, balok dan slab dengan *overhang*, panjang *overhang* tidak boleh melebihi sepertiga panjang bentang interior pertama dari elemen.

1.3.9 Kemiringan maksimum untuk slab, girder, balok dan rusuk (joists) — Kemiringan slab, girder, balok atau rusuk (*joists*) tidak boleh melebihi 15 derajat.

1.3.10 Kemiringan lahan maksimum — Kemiringan lahan yang mengelilingi gedung tidak boleh melebihi 30 derajat (Gambar 1.3.10) atau rasio tinggi lantai pertama terhadap dimensi yang lebih kecil dari denah gedung.



Gambar 1.3.10 – Tata letak elevasi struktur secara umum

Tabel 1.3.1.1 – Hunian dan penggunaan yang diizinkan

Kelompok hunian	Subkelompok hunian	Diizinkan	
Kelompok A – <i>Assembly</i> (Pertemuan)	A-1	Teater dengan tempat duduk tetap, studio televisi dan radio	TIDAK
	A-2	Gedung yang memiliki ruang pertemuan dengan kapasitas kurang dari 100 orang dan tidak memiliki panggung	YA
	A-3		
	A-4	Arena, arena skating, kolam renang, dan lapangan tenis	TIDAK
	A-5	Taman hiburan, tempat duduk terbuka di stadion, tribun, stadion	TIDAK
Kelompok B – <i>Business</i> (Bisnis)	B	Gedung untuk kantor, atau layanan profesional yang berisi tempat makan dan minum dengan penghuni kurang dari 50	YA
Kelompok E – <i>Educational</i> (Pendidikan)	E	Bangunan untuk pendidikan dengan kapasitas jumlah murid dan staf kurang dari 500	TIDAK
Kelompok F – <i>Factory</i> (Pabrik)	F-1	Industri ringan yang tidak menggunakan mesin berat	YA
	F-2	Industri berat yang menggunakan mesin berat	TIDAK
Kelompok H – <i>Hazardous</i> (Bahaya)	H	Bangunan untuk manufaktur, pengolahan, pembangkit, atau penyimpanan bahan yang berbahaya untuk fisik atau kesehatan	TIDAK
Kelompok I – <i>Institutional</i> (Kelembagaan)	I-1	Bangunan untuk tempat tinggal dan fasilitas perawatan	YA
	I-2	Rumah sakit	TIDAK
	I-3	Penjara, pusat penampungan	YA
	I-4	Fasilitas penitipan anak	YA
Kelompok M – <i>Mercantile</i> (Perdagangan)	M	Bangunan untuk menampilkan barang jualan dan tempat berjualan	YA
Kelompok R – <i>Residential</i> (Hunian)	R-1	Hotel yang memiliki ruang pertemuan dengan kapasitas kurang dari 100 orang dan tidak memiliki panggung	YA
	R-2	Bangunan apartemen dan asrama	YA
	R-3	Rumah	YA
	R-4	Rumah perawatan dan fasilitas penyandang kebutuhan khusus	YA
Kelompok S – <i>Storage</i> (Penyimpanan)	S-1	Gudang penyimpanan bahan yang berat dan berbahaya	TIDAK
	S-2	Gudang penyimpanan bahan yang ringan	YA
Kelompok U – <i>Utility and Miscellaneous</i> (Utilitas dan lain-lain)	U	Utilitas, sistem penyuplai air, dan pembangkit listrik	TIDAK
	U	Garasi untuk kendaraan dengan kapasitas angkut hingga 18 kN	YA
	U	Garasi untuk truk dengan kapasitas angkut lebih dari 18 kN	TIDAK

1.4 – Peraturan dan standar pendukung

Untuk kasus-kasus dengan batasan yang dijelaskan pada 1.3, panduan ini dimaksudkan untuk penyederhanaan agar sesuai dengan peraturan dan standar pendukung:

- a) SNI 2847
- b) SNI 1726 dan SNI 1727

Kasus-kasus lain tidak tercakup dalam panduan ini. Silakan merujuk pada Tabel A.1 di Lampiran A untuk panduan dengan bagian untuk topik yang sesuai dalam peraturan dan standar pendukung.

1.5 – Prosedur desain dan konstruksi

1.5.1 Prosedur — Prosedur desain terdiri dari langkah-langkah yang tercantum dalam Tabel 1.5.1. Lihat juga Gambar 1.5.1a dan 1.5.1b sebagai acuan. Perhatikan bahwa dengan mematuhi batasan dimensi dan tebal selimut dalam panduan ini, maka peringkat ketahanan api selama 1 jam tercapai. Peringkat ini biasanya cukup memadai untuk penggunaan hunian yang diizinkan dalam panduan ini. Peringkat api lainnya di luar cakupan dari panduan ini, dan desain tersebut harus dilakukan mengacu pada SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727.

1.5.2 Dokumentasi desain — Langkah-langkah desain harus dicatat sebagai berikut.

1.5.2.1 *Catatan perhitungan* — Perancang profesional berlisensi harus mendokumentasikan seluruh langkah desain dalam catatan perhitungan. Catatan ini harus berisi minimal hal-hal sebagai berikut:

- (a) Tata letak struktural secara umum, seperti yang dijelaskan pada Bab 3
- (b) Deskripsi sistem struktural
- (c) Beban-beban
- (d) Karakteristik, kekuatan, dan standar fabrikasi untuk seluruh material struktur
- (e) Justifikasi atas seluruh perhitungan desain
- (f) Sketsa tata letak penulangan untuk seluruh komponen struktural

1.5.2.2 *Laporan geoteknik* — Laporan geoteknik harus minimal mencatat hasil investigasi tanah, pemilihan daya dukung tanah yang diizinkan, jenis profil tanah, tekanan tanah lateral untuk desain seluruh struktur penahan tanah, dan seluruh informasi yang ditunjukkan dalam Bab 4 dan Bab 14.

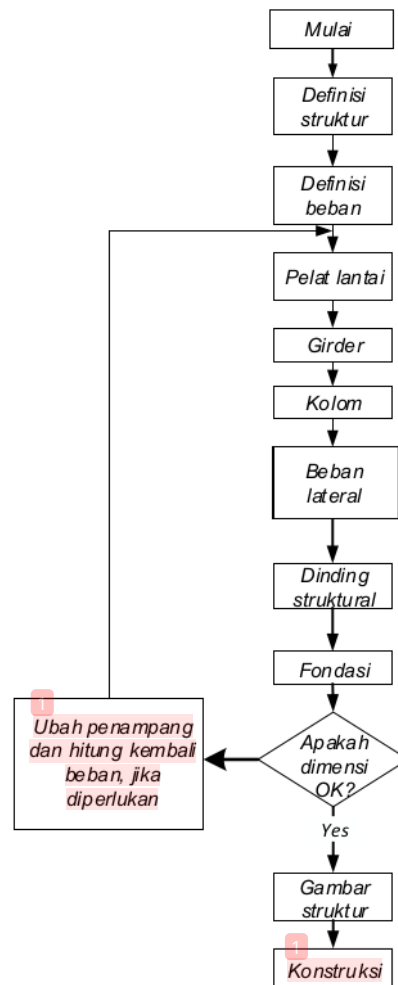
1.5.2.3 *Gambar struktur* — Gambar struktur harus minimal termasuk seluruh denah yang ditunjukkan dalam Bab 15 untuk konstruksi gedung.

1.5.2.4 *Spesifikasi proyek* — Spesifikasi proyek harus minimal termasuk seluruh spesifikasi konstruksi yang dijelaskan dalam Bab 15.

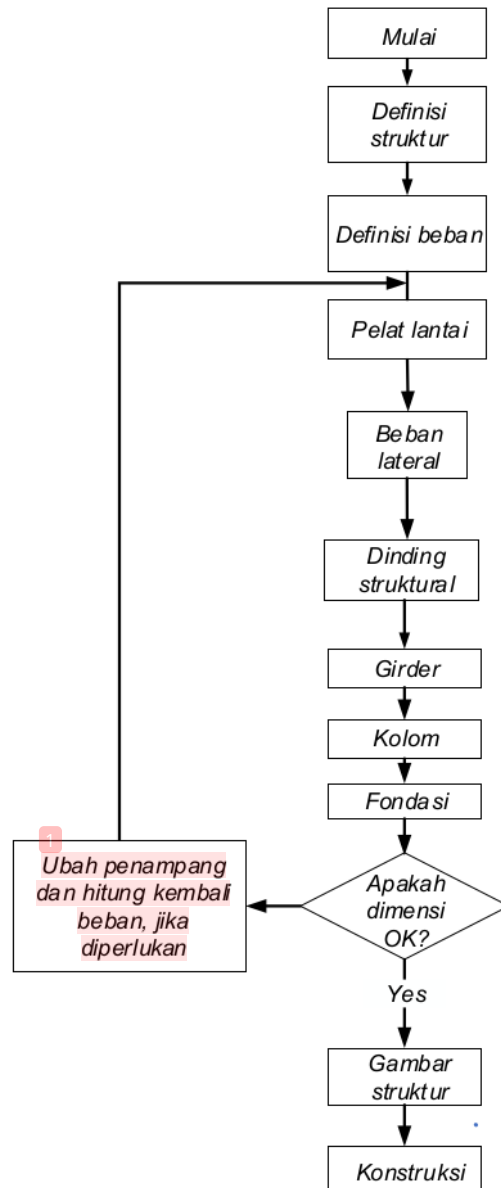
1.5.3 *Komponen beton pracetak* — komponen beton pracetak mungkin digunakan, termasuk beton pratekan yang diproduksi di luar lokasi proyek. Komponen seperti ini harus dirancang oleh perancang profesional berlisensi dengan mengacu pada SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727. Perhitungan harus di kaji oleh perancang profesional berlisensi yang bertanggung jawab (1.2) dan dimasukkan dalam laporan perhitungan (1.5.2.1). Pendetailan dan penempatan gambar sesuai 1.5.2.2 harus dilengkapi dan disertakan sebagai bagian dari gambar struktural (1.5.2.3). Produksi komponen pracetak harus dilakukan di fasilitas yang dibuktikan mampu menghasilkan produk yang berkualitas.

1
Tabel 1.5.1 – Langkah-langkah prosedur desain dan konstruksi

Langkah	Deskripsi	Bab terkait
A	Verifikasi bahwa batasan untuk menggunakan panduan ini terpenuhi. Penentuan denah dan tampak vertikal struktur.	1 dan 3
B	Perhitungan seluruh beban gravitasi yang bekerja pada struktur, kecuali berat sendiri.	4
C	Definisi sistem lantai yang sesuai, tergantung pada panjang bentang dan besarnya beban gravitasi.	6
D	Penentuan tebal dimensi awal untuk slab pada sistem lantai. Perhitungan berat sendiri dari sistem dan desain elemen penyusunnya, koreksi terhadap dimensi awal jika diperlukan akibat batasan kekuatan atau layan, memenuhi batasan untuk sistem slab dengan balok, atau sistem slab-kolom.	6, 7 dan 9
E	Dimensi awal untuk balok dan girder (jika diperlukan). Perhitungan berat sendiri girder, balok dan rusuk (<i>joists</i>). Desain lentur dan geser balok dan girder, koreksi terhadap dimensi jika diperlukan untuk memenuhi batasan kekuatan dan layan.	6 dan 8
F	Dimensi awal untuk kolom. Verifikasi kelangsingan kolom melalui penggunaan dimensi minimum. Perhitungan berat sendiri kolom. Desain kolom terhadap kombinasi beban aksial, momen dan geser. Koreksi terhadap dimensi jika diperlukan untuk memenuhi batasan kekuatan dan layan.	10
G	Jika beban lateral, seperti gempa, angin atau tekanan tanah lateral melampaui besar nilai nominal, maka besar beban dan titik pembebanan harus ditentukan; jika tidak, desainer dapat melanjutkan ke Langkah I.	4
H	Lokasi awal dan dimensi awal untuk dinding beton bertulang mampu menahan beban lateral. Untuk beban gempa, pengaruh berat sendiri dinding dievaluasi. Desain lentur dan geser untuk dinding beton bertulang.	11 dan 12
I	Desain tangga, ramp, tangki air minum kecil dan dinding penahan.	13
J	Beban pada tingkat fondasi ditentukan. Definisi sistem fondasi ditentukan. Desain elemen struktural fondasi.	14
K	Produksi gambar struktural dan spesifikasi.	15
L	Struktur dibangun sesuai dengan persyaratan konstruksi dan inspeksi.	16



Gambar 1.5.1a – Prosedur desain dan konstruksi



1 Gambar 1.5.1b – Prosedur desain dan konstruksi untuk daerah gempa

1.6 – Keadaan Batas

Pendekatan desain pada panduan ini berdasarkan beberapa keadaan batas. Keadaan batas adalah suatu kondisi struktur atau komponen yang melewati batas mengakibatkan komponen tersebut tidak memenuhi syarat kemampuan layan dan dinilai tidak aman atau tidak lagi berfungsi sesuai peruntukannya. Perencana harus memverifikasi bahwa keadaan batas kekuatan dan kemampuan layan diperhitungkan dalam struktur yang didesain. Berikut ini dipertimbangkan secara implisit dalam prosedur desain:

- (a) Integritas struktur
- (b) Simpangan antar tingkat akibat gaya lateral
- (c) Durabilitas
- (d) Ketahanan api

1.7 – Desain kekuatan

1.7.1 Umum — Pada desain kekuatan, dimensi struktur dan komponen struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desain pada seluruh penampang setidaknya sama dengan kebutuhan akibat gaya bekerja berdasarkan kombinasi beban terfaktor yang dijelaskan pada Bab 4. Ekspresi dasar untuk keadaan batas kekuatan adalah

$$\text{ketahanan} \geq \text{efek beban} \quad (1.7.1a)$$

Karena nilai ketahanan dapat lebih kecil daripada yang dihitung dan efek beban dapat lebih besar daripada yang dihitung, maka faktor reduksi kekuatan ϕ adalah lebih kecil dari 1, dan faktor beban γ umumnya digunakan lebih besar dari 1

$$\phi R_n \geq \gamma_1 S_2 + \gamma_2 S_2 + \dots \quad (1.7.1b)$$

dengan R_n adalah kekuatan nominal, dan S adalah efek beban berdasarkan beban-beban yang dijelaskan pada Bab 4. Oleh karena itu, kekuatan desain mensyaratkan

$$\text{kekuatan desain} \geq \text{kekuatan perlu} \quad (1.7.1c)$$

$$\phi (\text{kekuatan nominal}) \geq \text{kekuatan perlu} \quad (1.7.1d)$$

dengan kekuatan perlu $U = \gamma_1 S_2 + \gamma_2 S_2 + \dots$

1.7.2 Kekuatan perlu — Kekuatan perlu U harus dihitung untuk kombinasi beban terfaktor yang tercantum dalam 4.2.

1.7.3 Kekuatan desain — Kekuatan desain elemen, hubungan (*connection*) dengan elemen lain, dan penampang dalam hal lentur, gaya aksial, dan geser, adalah kekuatan nominal dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Kekuatan nominal harus dihitung untuk setiap pengaruh gaya tertentu pada masing-masing jenis elemen pada bagian kritis yang ditentukan. Faktor reduksi kekuatan ϕ berikut harus digunakan:

- c) Lentur, tanpa beban aksial: $\phi = 0,90$
- d) Tarik aksial dan tarik aksial dengan lentur: $\phi = 0,90$
- e) Tekan aksial dan tekan aksial dengan lentur:
 - i. Kolom dengan ikatan/senggang dan dinding beton bertulang: $\phi = 0,65$
 - ii. Kolom dengan tulangan spiral: $\phi = 0,75$
- f) Geser dan Torsi: $\phi = 0,75$
- g) Tumpuan pada beton: $\phi = 0,65$

1.8 – Desain terhadap kemampuan layan

Untuk memastikan respons yang memadai selama layanan, rekomendasi dimensi, selimut beton, penulangan, dan konstruksi yang direkomendasikan dalam panduan ini agar diikuti. Kondisi layanan ini mencakup pengaruh-pengaruh seperti berikut:

- (a) Pengaruh lingkungan jangka panjang, termasuk paparan terhadap lingkungan agresif atau korosi pada tulangan
- (b) Perubahan dimensi akibat variasi suhu, kelembaban relatif, dan pengaruh lainnya
- (c) Retak pada beton yang berlebihan
- (d) Defleksi vertikal yang berlebihan
- (e) Vibrasi yang berlebihan

1 BAB 2 – NOTASI DAN DEFINISI

2.1 – Notasi

A_b	=	luas sebuah batang atau kawat, in. ² (mm ²)
A_{cb}	=	luas tumpuan (<i>bearing</i>) beton, in. ² (mm ²)
A_{cs}	=	luas inti beton dari komponen tekan dengan tulangan spiral yang diukur sampai ke tepi luar diameter tulangan spiral, in. ² (mm ²)
A_f	=	luas kontak fondasi dengan tanah, in. ² (mm ²)
A_g	=	luas bruto penampang beton, mm ² . Untuk penampang berlubang, A_g adalah luas beton saja dan tidak termasuk luas lubang, in. ² (mm ²)
A_i	=	luas tulangan penggantung (<i>hanger</i>) tambahan di mana balok menumpu pada girder atau balok lainnya, in. ² (mm ²)
A_j	=	luas penampang geser efektif pada <i>joint</i> , in. ² (mm ²)
A_p	=	komponen, klading, atau luasan permukaan yang terkena angin, in. ² (mm ²)
A_s	=	luas tulangan tarik longitudinal, in. ² (mm ²)
A_s'	=	luas tulangan tekan, in. ² (mm ²)
A_{se}	=	luas baja tulangan pada muka ekstrim kolom atau dinding beton bertulang, in. ² (mm ²)
$A_{s,min}$	=	luas tulangan tarik longitudinal minimum, in. ² (mm ²)
A_{ss}	=	luas baja tulangan pada sisi samping kolom atau dinding beton bertulang, in. ² (mm ²)
A_{st}	=	luas total tulangan longitudinal, in. ² (mm ²)
A_{su}	=	luas permukaan yang terpapar angin, ft. ² (m ²)
A_v	=	luas tulangan geser, in. ² (mm ²)
a	=	tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, in. (mm)
a_w	=	jarak dari tepi fondasi dinding ke resultan reaksi tanah dalam fondasi dinding, in. (mm)
B_f	=	dimensi horizontal sisi pendek fondasi, in. (mm)
b	=	lebar komponen, atau lebar sayap tekan komponen, in. (mm)
b_c	=	lebar penampang kolom, dan untuk evaluasi geser pons, dimensi horizontal terkecil dari pedestal, kapital kolom, atau drop panel, atau perubahan tebal pada fondasi berundak, in. (mm)
b_f	=	lebar sisi tekan elemen, in. (mm)
b_o	=	keliling penampang kritis untuk geser dua arah (geser pons) pada pelat, in. (mm)
b_w	=	lebar badan dari penampang, in. (mm)
C_p	=	koefisien tekanan permukaan angin pada komponen atau klading
C_{su}	=	koefisien tekanan permukaan angin
C_{vx}	=	koefisien yang didefinisikan di 4.11.4 untuk desain terhadap beban seismik
c_c	=	jarak terkecil antara permukaan tulangan ke muka tepi, in. (mm)
D	=	beban mati atau momen dan gaya dalam yang terkait
d	=	tinggi efektif penampang, yang diukur sebagai jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, in. (mm)
d'	=	jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal, in. (mm)
d_b	=	diameter nominal batang tulangan atau kawat, in. (mm)
d_c	=	jarak dari serat tarik terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, in. (mm)
d_s	=	diameter terluar tulangan spiral, in. (mm)
E	=	beban seismik atau momen dan gaya dalam yang terkait

E_c	=	modulus elastisitas beton, psi. (MPa)
e_B	=	eksentrisitas resultan yang diterapkan ke fondasi pada arah sejajar dengan B_f , in. (mm)
e_H	=	eksentrisitas resultan yang diterapkan ke fondasi sejajar dengan H_f , in. (mm)
e_x	=	eksentrisitas, diukur dalam arah x, antara pusat kekakuan lateral tingkat dan titik kerja dari beban lateral tingkat dalam arah y, in. (mm)
e_y	=	eksentrisitas, diukur dalam arah y, antara pusat kekakuan lateral tingkat dan titik kerja dari beban lateral tingkat dalam arah x, in. (mm)
F	=	beban akibat berat dan tekanan fluida dengan kerapatan yang dapat dihitung dengan baik dan tinggi maksimum yang dapat dikendalikan, atau momen dan gaya dalam yang terkait
F_a	=	koefisien situs seismik untuk getaran perioda pendek
F_{ac}	=	total gaya tanah lateral aktif, lb (kN)
F_b, F_x	=	gaya angin atau gaya gempa pada tingkat i atau x, lb (kN)
F_o	=	total gaya tanah lateral saat diam (<i>at rest</i>), lb (kN)
F_{pw}	=	gaya angin statik ekuivalen untuk komponen dan klading yang bekerja pada arah normal terhadap permukaan yang terpapar angin, lb (kN)
F_{su}	=	gaya angin statik ekuivalen yang bekerja pada arah normal terhadap permukaan yang terpapar angin, lb (kN)
F_{ui}, F_{ux}	=	gaya lateral terfaktor yang diterapkan pada tingkat i atau x, lb (kN)
f_c'	=	kekuatan tekan terspesifikasi beton, psi (MPa)
$\sqrt{f_c'}$	=	akar kuadrat kekuatan tekan terspesifikasi beton, hasilnya mempunyai satuan psi (MPa)
f_{cr}'	=	kekuatan tekan rata-rata perlu beton yang digunakan sebagai dasar untuk pemilihan proporsi beton, psi (MPa)
f_{cu}	=	tegangan tekan pada serat terluar akibat beban terfaktor pada tepi dinding struktural, psi (MPa)
f_y	=	kekuatan leleh terspesifikasi tulangan, psi (MPa)
f_{ypr}	=	kekuatan maksimum terspesifikasi probabel tulangan ($1,25 f_y$), psi (MPa)
f_{yt}	=	kekuatan leleh terspesifikasi tulangan transversal atau spiral, psi (MPa)
g	=	percepatan gravitasi, 386 in./s^2 ($9,8 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$)
H	=	beban akibat berat dan tekanan tanah, air dalam tanah, atau bahan lainnya, atau momen dan gaya dalam yang terkait
H_f	=	dimensi horizontal sisi panjang fondasi, in. (mm)
h	=	tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, atau diameter terluar penampang bundar, in. (mm)
h_b	=	jarak vertikal diukur dari bawah girder penumpu ke bawah balok yang ditumpu, ft. (m)
h_c	=	tinggi kolom, atau dimensi kolom dalam arah sejajar dengan bentang girder; dan untuk evaluasi geser pons, dimensi horizontal terbesar dari kapital kolom, pedestal, dan perubahan tebal pada fondasi berundak, in. (mm)
h_f	=	tebal sayap, in. (mm)
h_g	=	tinggi total girder penumpu, in. (mm)
h_b, h_x	=	tinggi dari dasar hingga tingkat i atau x, ft. (m)
h_n	=	jarak bersih vertikal antara tumpuan lateral kolom dan dinding, in. (mm)
h_{pi}	=	ketinggian tingkat i diukur dari finishing lantai tingkat tersebut ke finishing lantai tingkat di bawahnya, ft. (m)
h_r	=	tinggi atap rata-rata untuk desain angin, diukur untuk keseluruhan area, ft. (m)
h_s	=	kedalaman tanah terhadap dinding penahan tanah, in. (mm)
h_w	=	tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas, in. (mm)
I_c	=	momen inersia penampang kolom, in.^4 (mm^4)

SNI 8900:2020

K_a	=	koefisien tekanan tanah aktif
K_o	=	koefisien tekanan tanah saat diam
K_p	=	koefisien tekanan tanah pasif
k_r	=	kekakuan rotasi tingkat total
k_x, k_y	=	kekakuan lateral dinding dalam arah x atau y, lb/in. (N/mm)
L	=	beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang terkait
L_r	=	beban hidup atap, atau momen dan gaya dalam yang terkait
ℓ_0	=	panjang kolom terkekang, in. (mm)
ℓ_1	=	panjang bentang dalam arah di mana momen ditentukan, yang diukur pusat ke pusat tumpuan, in. (mm)
ℓ_2	=	panjang bentang dalam arah tegak lurus terhadap ℓ_1 , yang diukur pusat ke pusat tumpuan, in. (mm)
ℓ_a	=	panjang bentang bersih pada arah memendek dari pelat dua arah atau pada arah momen, diukur muka ke muka balok atau tumpuan lainnya, in. (mm)
ℓ_c	=	panjang bentang bersih pada arah memanjang dari pelat dua arah, diukur muka ke muka balok atau tumpuan lainnya, in. (mm)
ℓ_d	=	panjang penyaluran, in. (mm)
ℓ_n	=	panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka balok atau tumpuan, in. (mm)
ℓ_{ps}	=	faktor untuk menghitung kekuatan geser dua arah (geser pons)
ℓ_s	=	panjang bentang as ke as; jarak terpendek antara garis as kolom sejajar yang berdekatan, in. (mm)
ℓ_w	=	panjang horizontal dinding, in. (mm)
M_a	=	momen terfaktor dalam arah pendek pada slab dua arah, lb.in (kN.m) per satuan lebar slab
$M_{a \text{ or } b}^+$	=	momen positif terfaktor pada penampang, lb.in (kN.m) per satuan lebar slab
$M_{a \text{ or } b}^-$	=	momen negatif terfaktor pada penampang, lb.in (kN.m) per satuan lebar slab
M_b	=	momen terfaktor dalam arah memanjang pada slab dua arah, lb.in (kN.m) per satuan lebar slab
M_{bn}	=	kekuatan momen nominal penampang pada kondisi terbalans, lb.in (kN.m)
M_b, M_x	=	momen guling tak terfaktor akibat beban lateral pada tingkat i atau x, lb.in (kN.m)
$M_{i, x}, M_{x, i}$	=	momen tingkat terfaktor akibat beban lateral pada tingkat i atau x, lb.in (kN.m)
M_n	=	kekuatan momen nominal penampang, lb.in (kN.m)
M_o	=	momen total terfaktor pada penampang, lb.in (kN.m)
M_{ot}	=	momen guling tak terfaktor akibat beban lateral pada dasar struktur, lb.in (kN.m)
M_{otu}	=	momen guling terfaktor akibat beban lateral pada dasar struktur, lb.in (kN.m)
M_{pr}	=	kekuatan lentur probabel pada komponen struktur di muka joint, dihitung menggunakan f_{yp} dan nilai $\phi = 1$, lb.in (kN.m)
M_u	=	momen terfaktor pada penampang, lb.in (kN.m)
M_u^+	=	momen terfaktor positif pada penampang, lb.in (kN.m)
M_u^-	=	momen terfaktor negatif pada penampang, lb.in (kN.m)
M_{ux}	=	momen terfaktor penampang arah x, lb.in (kN.m)
M_{uy}	=	momen terfaktor penampang arah y, lb.in (kN.m)
M_{xu}	=	momen guling terfaktor akibat beban lateral untuk tingkat x, lb.in (kN.m)
N	=	jumlah tumbukan dalam <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)
\bar{N}	=	tahanan SPT tanah rata-rata, terukur dalam jumlah tumbukan per ft (0,305 m) penetrasi, terhitung profil tanah 100 ft (30 m) paling atas

n_c	= jumlah kolom interior pada tingkat dalam arah yang ditinjau, untuk seluruh struktur
n_e	= jumlah kolom tepi pada tingkat dalam arah yang ditinjau, untuk seluruh struktur
n_s	= jumlah tingkat bangunan di atas lantai dasar
P_{bn}	= kekuatan tekan aksial nominal penampang pada kondisi balans, lb (N)
P_{cu}	= beban tekan terfaktor pada elemen batas dinding, termasuk efek gempa, lb (N)
P_d	= gaya aksial akibat beban mati tak terfaktor pada penampang, lb (N)
P_f	= gaya aksial akibat beban hidup tak terfaktor penampang, lb (N)
P_n	= kekuatan tekan aksial nominal untuk suatu eksentrisitas tertentu, lb (N)
$P_{n(max)}$	= kekuatan tekan aksial nominal maksimum pada penampang, lb (N)
P_{on}	= kekuatan tekan aksial nominal, tanpa lentur, lb (N)
P_{ov}	= beban vertikal maksimum pada fondasi, termasuk efek guling akibat angin dan gempa, lb (N)
P_{tn}	= kekuatan tarik nominal, tanpa lentur, lb (N)
P_{tu}	= gaya tarik terfaktor pada elemen batas dinding, termasuk efek gempa, lb (N)
P_u	= beban aksial terfaktor atau beban terpusat terfaktor, atau beban aksial terfaktor untuk suatu eksentrisitas tertentu, lb (N)
P_{ub}	= beban aksial terfaktor pada dasar kolom, lb (N)
P_v	= beban vertikal maksimum pada fondasi, tidak termasuk efek angin atau gempa, lb (N)
PI	= indeks plastisitas tanah
p	= tekanan tak terfaktor untuk dinding penahan tanah dengan breising, lb/ft ² (kN/m ²)
p_a	= tekanan aktif tak terfaktor, lb/ft ² (kN/m ²)
p_d	= beban mati terpusat tak terfaktor yang diaplikasikan secara langsung pada batang, lb (N)
p_l	= beban hidup terpusat tak terfaktor yang diaplikasikan secara langsung pada batang, lb (N)
p_o	= tekanan tak terfaktor saat diam, lb/ft ² (kN/m ²)
p_p	= tekanan pasif tidak terfaktor, lb/ft ² (kN/m ²)
p_t	= tekanan beban tambahan vertikal tak terfaktor di atas timbunan dinding penahan tanah, lb/ft ² (kN/m ²)
p_u	= beban terpusat terfaktor yang diaplikasikan langsung pada batang, lb (N)
p_{utw}	= tekanan horizontal desain terfaktor pada dinding penahan tanah akibat dari tekanan beban tambahan di atas timbunan dinding penahan tanah, lb/ft ² (kN/m ²)
p_{uw}	= tekanan horizontal desain terfaktor pada dinding penahan tanah, lb/ft ² (kN/m ²)
p_z	= tekanan tanah lateral pada saat aktif atau diam, di kedalaman x , lb/ft ² (kN/m ²)
q_a	= daya dukung tanah yang diizinkan tak terfaktor, lb/ft ² (kN/m ²)
q_c	= ketahanan penetrasi konus standar pada uji penetrasi konus (<i>cone penetration test</i> / CPT), lb/ft ² (kN/m ²)
q_d	= beban mati tak terfaktor per satuan luas, lb/ft ² (kN/m ²)
q_h	= tekanan akibat kecepatan angin pada ketinggian h , lb/ft ² (kN/m ²)
q_l	= beban hidup tidak terfaktor per satuan luas, lb/ft ² (kN/m ²)
q_o	= tekanan <i>overburden</i> , atau beban gravitasi tak terfaktor yang diaplikasikan langsung pada slab fondasi rakit, lb/ft ² (kN/m ²)
q_u	= beban terfaktor per satuan luas, lb/ft ² (kN/m ²)
q_{uc}	= kekuatan tekan tak terkekang (<i>unconfined</i>) tanah, lb/ft ² (kN/m ²)
q_{un}	= tekanan tanah neto terfaktor fondasi, lb/ft ² (kN/m ²)

SNI 8900:2020

R	= beban hujan atau momen dan gaya dalam yang terkait
R_n	= kekuatan nominal baik untuk lentur, aksial, geser, atau tumpu
R_{pi}	= reaksi dari tekanan tanah lateral pada tingkat i , lb (N)
R_s	= faktor modifikasi respons terkait kapasitas disipasi energi dalam rentang inelastis pada sistem struktur tahan gempa
R_u	= gaya reaksi terfaktor dari elemen struktur yang ditumpu, lb (N)
r_u	= reaksi beban merata terfaktor dari slab pada girder, balok, dan dinding beton bertulang penumpu, lb/ft (kN/m)
S	= beban salju atau momen dan gaya dalam yang terkait
S_a	= nilai percepatan elastis spektrum respons desain, untuk rasio redaman 5%, dinyatakan dalam satuan gravitasi, g
S_{DS}	= nilai parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek
S_i	= efek beban nominal berdasarkan beban i
s	= spasi tulangan transversal, sengkang, atau tulangan dinding yang diukur pada sepanjang sumbu elemen, in. (mm)
s_j	= spasi pusat ke pusat antara joist yang sejajar, in. (mm)
s_s	= deviasi standar sampel uji, psi (MPa)
s_{sk}	= spasi tulangan badan, in. (mm)
s_u	= kuat geser tanah kohesif niralir (<i>undrained</i>), lb/ft ² (kN/m ²)
T	= pengaruh kumulatif dari suhu, rangkai, susut, dan perbedaan penurunan
T_b, T_x	= momen torsi tingkat tak terfaktor akibat beban lateral pada tingkat i atau x , lb.in (kN.m)
T_o	= momen torsi tingkat tak terfaktor akibat beban lateral pada dasar struktur, lb.in (kN.m)
T_{ou}	= momen torsi tingkat terfaktor akibat beban lateral pada dasar struktur, lb.in (kN.m)
T_u	= momen torsi terfaktor penampang, lb.in (kN.m)
T_{xu}, T_{yu}	= momen torsi tingkat terfaktor akibat beban lateral pada tingkat i atau x , lb.in (kN.m)
t_x, t_y	= dimensi penampang komponen vertikal struktural dalam arah x atau y , in. (mm)
U	= kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam terfaktor yang terkait
V	= kecepatan angin dasar, bersesuaian dengan kecepatan hembusan 3 detik pada lokasi 10 m di atas permukaan tanah, mph (m/s)
V_{bs}	= gaya geser dasar seismik desain, lb (kN)
V_c	= kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, lb (kN)
V_b, V_x	= gaya geser tingkat tak terfaktor akibat gaya lateral pada tingkat i atau x , lb (kN)
V_{iu}, V_{xu}	= gaya geser tingkat terfaktor akibat gaya lateral pada tingkat i atau x , lb (kN)
V_n	= kekuatan geser nominal penampang, lb (kN)
V_o	= gaya geser tingkat tak terfaktor akibat beban lateral pada lantai dasar, lb (kN)
V_{ou}	= gaya geser tingkat terfaktor akibat beban lateral pada lantai dasar, lb (kN)
V_s	= kekuatan geser nominal penampang yang disediakan oleh tulangan transversal, lb (kN)
V_{sw}	= kekuatan geser nominal penampang kontribusi dari tulangan horizontal pada dinding, lb (kN)
V_u	= gaya geser terfaktor, lb (kN)
V_w	= gaya geser dasar desain angin, lb (kN)
W	= beban angin, atau momen dan gaya dalam yang terkait
W_s	= berat bangunan total untuk desain gempa, lb (kN)

W_u	= beban desain total terdistribusi merata terfaktor per satuan panjang, lb/in. (kN/m)
W_{uf}	= beban desain total terdistribusi merata terfaktor per satuan panjang, lb/in. (kN/m)
w	= kadar kelembaban tanah, persen
W_d	= beban mati tak terfaktor per satuan panjang yang membebani komponen struktur secara langsung, lb/in. (kN/m)
W_{df}	= beban mati tak terfaktor per satuan panjang yang membebani komponen struktur secara langsung, lb/in. (kN/m)
W_b, W_x	= bagian dari W_s , sesuai dengan tingkat i atau x , lb (kN)
W_t	= beban hidup tak terfaktor per satuan panjang yang diaplikasikan pada komponen struktur secara langsung, lb/in. (kN/m)
W_u	= beban terfaktor per satuan panjang yang diaplikasikan pada komponen struktur secara langsung, lb/in. (kN/m)
\bar{x}, \bar{y}	= koordinat pusat kekakuan lateral lantai dalam arah x dan y , in. (mm)
z	= kedalaman tanah, ft. (m)
α_a	= fraksi beban yang bekerja pada arah memendek dalam sistem slab dua arah dengan balok
α_b	= fraksi beban yang bekerja pada arah memanjang dalam sistem slab dua arah dengan balok
α_c	= koefisien yang menentukan kontribusi beton terhadap kekuatan geser dinding
α_f	= parameter pada Pers. 5.11.4.2
α_{sh}	= faktor yang mempengaruhi gaya geser ekuivalen akibat momen yang tak terbalans pada sambungan kolom-pelat dalam Pers. 9.5.4.4
α_w	= sudut horizontal antara bidang normal ke permukaan yang terpapar angin dan arah angin, derajat
β	= rasio bentang bersih sisi panjang terhadap sisi pendek pada sistem pelat dua arah
β_f	= rasio sisi panjang terhadap sisi pendek pada fondasi
β_w	= sudut vertikal antara bidang normal ke permukaan yang terpapar angin dan garis horizontal, derajat
ΔM_u	= momen tak terbalans (<i>unbalanced</i>) terfaktor pada hubungan kolom-balok atau hubungan dinding-balok, lb.in. (kN.m)
ΔM_{u-ad}	= momen tak terbalans (<i>unbalanced</i>) terfaktor tambahan pada sambungan kolom-slab, lb.in. (kN.m)
ΔV_e	= gaya geser desain terfaktor dari terjadinya kapasitas momen probabel dari elemen pada muka joint, lb (kN)
ΔV_u	= gaya geser terfaktor akibat momen tak terbalans pada sambungan kolom-slab, lb (kN)
ΔV_{uf}	= peningkatan geser terfaktor pada dinding akibat efek torsi, lb (kN)
ϕ	= faktor reduksi kekuatan
ϕ_s	= sudut friksi dalam pada tanah
γ	= berat jenis bahan atau tanah, lb/ft ³ (kN/m ³)
γ_i	= faktor beban untuk efek beban i
ρ_E	= faktor redundansi
ρ	= rasio tulangan tarik longitudinal (A_s/bd)
ρ'	= rasio tulangan tekan longitudinal (A_s'/bd)
ρ_t	= rasio tulangan longitudinal total terhadap luas bruto penampang
ρ_{max}	= rasio maksimum tulangan tarik lentur longitudinal
ρ_{min}	= rasio minimum tulangan tarik lentur longitudinal
ρ_s	= rasio volume tulangan spiral terhadap volume total inti yang dikeang oleh spiral

SNI 8900:2020

ρ_t	= rasio luas tulangan geser horizontal terhadap luas bruto beton dari penampang vertikal
ρ_{vw}	= rasio tulangan vertikal dalam dinding beton bertulang
ΣM_c	= jumlah kekuatan lentur nominal (M_n) kolom yang merangka pada joint, lb.in. (kN.m)
ΣM_g	= jumlah kekuatan lentur nominal (M_n) balok yang merangka pada joint, lb.in. (kN.m)
ΣP_u	= jumlah beban terpusat terfaktor pada bentang, lb (kN)
ΣR_u	= jumlah reaksi terfaktor dari tumpuan pada tingkat yang sama, lb (kN)

2.2 – Definisi

ACI menyediakan sebuah daftar definisi yang komprehensif melalui sumber *online*, "ACI Concrete Terminology" <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=CT13>.

Definisi yang disediakan di sini melengkapi sumber tersebut.

admixture (admikstur) — material selain air, agregat, atau semen hidrolis, yang digunakan sebagai bahan penyusun beton dan ditambahkan pada beton sebelum atau selama pencampurannya untuk memodifikasi properti.

aggregate (agregat) — bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang dicampur dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

allowable bearing capacity (kapasitas tumpu izin) — tekanan maksimum tanah atau material lain yang harus dijaga agar tidak terjadi keruntuhan geser atau penurunan yang berlebihan.

anchor (angkur) — perangkat tertanam dalam beton dengan tujuan menyediakan sambungan ke elemen atau struktur lainnya.

base of structure (dasar struktur) — tingkat di mana pergerakan tanah horizontal akibat gempa diasumsikan disalurkan ke bangunan gedung. Tingkat ini tidak perlu sama dengan tingkat tanah.

beam (balok) — komponen struktur yang mengalami beban aksial dan lentur, namun terutama lentur. Lihat juga girder.

bending moment (momen lentur) — efek lentur pada setiap bagian elemen struktural; sama dengan jumlah aljabar momen-momen dari gaya dalam tekan dan tarik yang bekerja pada penampang tersebut terhadap sumbu sentroid elemen, pada *free body* komponen.

boulders (batu besar) — batu (material) yang memiliki diameter lebih dari 8 in. (200mm).

boundary element (elemen batas) — bagian pada panjang dinding struktur dan tepi diafragma struktural yang diperkuat dengan tulangan longitudinal dan transversal. Elemen batas tidak selalu mensyaratkan penebalan dinding atau diafragma.

cement (semen) — sejumlah bahan yang mampu mengikat partikel agregat bersama-sama.

clay (lempung) — bahan mineral alami yang memiliki sifat plastis dan terdiri dari partikel yang sangat halus; fraksi mineral lempung dari suatu tanah biasanya dianggap bagian yang terdiri dari partikel yang lebih halus dari 8×10^{-5} in. ($2 \mu\text{m}$); mineral lempung pada dasarnya adalah aluminium silika hidrat atau kadang-kadang magnesium silika hidrat.

coarse-grained soil (tanah berbutir kasar) — tanah dengan ukuran butir lebih besar, seperti pasir dan kerikil, mendominasi.

column (kolom) — komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial.

collector element (elemen kolektor) — elemen yang bekerja secara tarik atau tekan aksial untuk menyalurkan gaya akibat gempa antara diafragma struktur dan elemen vertikal dari sistem penahan gaya seismik.

1
combined footing (fondasi gabungan) — unit struktural atau kumpulan unit yang menumpu lebih dari satu kolom.

compression flange (sayap tekan) — bagian melebar dari I, T, atau penampang serupa yang ditekan oleh gaya normal akibat lentur, seperti bagian horizontal dari penampang balok T bentang sederhana.

compression reinforcement (tulangan tekan) — tulangan yang didesain untuk menahan tegangan tekan.

concrete (beton) — campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

concrete cover (selimut beton) — jarak paling kecil antara permukaan tulangan terpasang dengan permukaan terluar beton.

concrete mixture proportioning (proporsi campuran beton) — proporsi bahan-bahan yang membuat penggunaan paling ekonomis dari material yang tersedia untuk memproduksi beton dari properti yang diperlukan.

confinement stirrup or tie (senggang pengekang) — lihat juga senggang tertutup.

construction document (dokumen konstruksi) — dokumen tertulis, grafik, elektronik, dan bergambar yang menggambarkan desain, lokasi, and karakteristik fisik dari keperluan proyek yang diperlukan untuk memverifikasi kesesuaiannya dengan standar.

contraction joint (joint kontraksi) — takikan yang dicetak, digergaji, atau dipahat dalam struktur beton untuk menciptakan bidang perlemahan dan mengarahkan lokasi retak akibat dari perubahan dimensi bagian struktur lainnya.

corrosion (korosi) — kerusakan metal akibat bahan kimia, elektrokimia, atau reaksi elektrolitik di lingkungan.

cross tie (senggang ikat) — 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 berturut-turut yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama harus diseling ujung-ujungnya.

curing (perawatan) — tindakan yang diambil untuk menjaga kondisi kelembaban dan suhu dalam campuran semen yang baru ditempatkan untuk memungkinkan hidrasi semen hidraulik dan (jika ada) reaksi pozzolan terjadi sehingga sifat potensial dari campuran dapat berkembang.

curtain wall — dinding yang merupakan bagian eksterior (muka bangunan) yang tidak membentuk bagian dari sistem penahan gravitasi atau lateral.

deformed reinforcement (tulangan sirip/ulir) — batang tulangan sirip/ulir, anyaman batang tulangan, kawat sirip/ulir, dan tulangan kawat las.

depth of member (tinggi penampang) — jarak pada suatu komponen struktur lentur, diukur dari serat tekan terluar ke serat tarik terluar.

design strength (kekuatan desain) — kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

development length (panjang penyaluran) — panjang tulangan tertanam, termasuk strand pratarik, yang diperlukan untuk mengembangkan kekuatan desain tulangan pada penampang kritis.

development length for a bar with a standard hook (panjang penyaluran untuk batang dengan kait standar) — jarak terpendek antara penampang kritis, dan garis singgung ke tepi luar kait yaitu 90 atau 180 derajat.

diaphragm (diafragma) — elemen struktural, seperti pelat lantai atau atap, yang menyalurkan beban yang bekerja di bidang elemen ke elemen vertikal dari sistem penahan gaya seismik.

differential settlement (perbedaan penurunan) — penurunan elevasi dari berbagai bagian fondasi dengan besar penurunan yang berbeda-beda.

1
effective depth of section (tinggi efektif penampang) — jarak yang diukur dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.

embedment length (panjang penanaman) — tulangan tertanam yang disediakan melebihi penampang kritis.

factored load (beban terfaktor) — beban, dikalikan dengan faktor beban yang sesuai, digunakan dengan metode desain kekuatan pada Panduan ini.

fine-grained soil (tanah berbutir halus) — tanah, dengan ukuran terkecil, seperti pasir halus dan lempung mendominasi.

fire resistance (ketahanan api) — properti suatu material untuk menahan api atau memberikan perlindungan darinya; sebagaimana diterapkan pada elemen-elemen bangunan, itu ditandai dengan kemampuan untuk membatasi api atau, ketika terpapar api, agar bangunan tetap berfungsi, atau keduanya.

flexural reinforcement (tulangan lentur) — tulangan yang disediakan untuk menahan tegangan tarik dan tekan yang diakibatkan momen lentur yang bekerja pada komponen struktur tersebut.

floor system (sistem lantai) — komponen struktural yang terdiri dari lantai dari sebuah tingkat (lantai) dalam bangunan, termasuk girder, balok, dan pelat yang membentang di antaranya, atau pelat hanya di tempat yang disangga secara langsung pada kolom, seperti pada sistem kolom-pelat.

footing (fondasi tapak gabungan) — elemen struktural dari fondasi yang menyalurkan beban di atasnya secara langsung ke tanah.

formwork (cetakan) — sistem pendukung untuk proses pengecoran beton, termasuk cetakan atau selubung yang bersentuhan dengan beton sebagaimana struktur pendukung.

foundation (fondasi) — sistem elemen struktural yang mentransmisikan beban ke tanah secara langsung.

foundation beam (balok fondasi) — balok beton bertulang, biasanya terletak di bagian permukaan tanah, yang memperkuat atau memperkaku fondasi.

girder (girder) — balok berukuran besar, biasanya horizontal, berperan sebagai komponen struktural utama, sering kali menjadi tumpuan bagi balok. Lihat juga Balok.

gravel (kerikil)—

1. Bahan berbutir yang tertahan pada saringan No.4 dan dihasilkan dari disintegrasi alami dan abrasi batuan atau pemrosesan konglomerat yang terikat lemah; dan

2. Bagian agregat yang tertahan pada saringan No.4 yang dihasilkan baik dari disintegrasi alami dan abrasi batuan atau pemrosesan konglomerat yang terikat lemah.

gravity loads (beban gravitasi) — beban yang bekerja ke arah bawah dan disebabkan oleh percepatan gravitasi yang bekerja pada massa elemen dan benda yang menghasilkan beban mati dan hidup.

hook (kait) — tekukan di ujung batang tulangan.

hoop (senggang tertutup) — pengikat tertutup atau pengikat yang digulung secara menerus. Pengikat tertutup dapat terbuat dari berbagai elemen tulangan yang masing-masing mempunyai kait gempapada kedua ujungnya. Pengikat yang digulung secara menerus harus mempunyai kait gempapada kedua ujungnya.

isolation joint (joint isolasi) — 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 terbentuknya retak di tempat lain dalam beton dan melalui yang mana semua bagian dari tulangan terikat terputus.

joist (joist) — balok yang relatif kecil dan digunakan dengan spasi jarak yang dekat untuk menahan lantai atau pelat atap di atasnya.

lap splice (splais lewatan) — sambungan baja tulangan dibuat dengan saling melewatkan bagian ujung tulangan yang disambung.

1 lateral force resisting system (sistem penahan gaya lateral) — bagian struktur yang terdiri dari komponen yang didesain untuk menahan beban yang berkaitan dengan beban lateral.

lateral seismic load (beban seismik lateral) — beban lateral sesuai dengan distribusi gaya geser dasar yang sesuai untuk desain tahan gempa.

licensed design professional (perancang profesional berlisensi) — perorangan tersertifikasi untuk desain struktur praktis seperti yang didefinisikan oleh persyaratan statuta hukum sertifikasi insinyur profesional atau kebijakan di mana proyek tersebut dibangun dan yang bertanggung jawab terhadap desain strukturnya; dalam dokumen lain, juga disebut sebagai perancang profesional berlisensi.

lightweight aggregate (agregat ringan) — agregat yang memenuhi persyaratan ASTM C330M dan mempunyai berat volume (*density*) gumpalan (*bulk*) lepas sebesar 1.120 kg/m^3 atau kurang, ditentukan sesuai dengan ASTM C29M.

lightweight concrete (beton ringan) — beton dengan campuran agregat ringan dan kepadatan yang memenuhi persyaratan ASTM C567/567M, antara 1.440 sampai 1.840 kg/m^3 . (beton jenis ini tidak diatur dalam panduan ini)

limit state (keadaan batas) — kondisi apabila terlampaui, maka struktur atau elemen struktur menjadi tidak layak dan dinilai tidak lagi berguna untuk fungsi yang dimaksud (*serviceability limit state*) atau tidak aman (*strength limit state*)

live load (beban hidup) — beban hidup yang ditetapkan dalam SNI 1727 (tanpa faktor beban).

load (beban) — beban atau aksi lain yang dihasilkan dari berat semua bahan bangunan, penghuni, dan variabel atau benda lainnya, efek lingkungan, pergerakan diferensial, dan perubahan dimensi yang tertahan. Beban permanen adalah beban dengan variasi dari waktu ke waktu jarang atau besarnya kecil. Semua beban lainnya adalah beban variabel.

load combination (kombinasi beban) — kombinasi dari beban terfaktor dan beban.

load effect (efek beban) — beban dan deformasi yang dihasilkan pada elemen struktur akibat beban yang diterapkan.

load factor (faktor beban) — faktor pengali untuk beban layan yang digunakan untuk menentukan beban terfaktor, dan digunakan dalam metode kekuatan desain (*strength design method*).

longitudinal reinforcement (tulangan longitudinal) — tulangan yang sejajar dengan sumbu longitudinal dari elemen struktur.

mat foundation (fondasi rakit / mat) — fondasi menerus yang mendukung sekumpulan kolom dalam beberapa baris di setiap arah, memiliki bentuk seperti pelat dengan atau tanpa bukaan.

modulus of elasticity (modulus elastisitas) — rasio tegangan normal terhadap regangan terkait, baik untuk kondisi tarik maupun tekan pada kondisi masih di bawah batas proporsional material.

negative moment (momen negatif) — kondisi lentur dengan serat atas dari elemen struktur horizontal, atau serat eksternal dari elemen struktur vertikal mengalami tegangan tarik.

negative reinforcement (tulangan negatif) — tulangan baja untuk menahan momen negatif.

nominal bar diameter (diameter tulangan nominal) — nilai yang dihitung menggunakan luas tulangan nominal.

nominal strength (kekuatan nominal) — kekuatan elemen struktur atau penampang yang dihitung sesuai dengan ketentuan dan asumsi dari metode kekuatan desain (*strength design method*) pada Panduan ini sebelum dikalikan faktor reduksi kekuatan.

nonstructural element (elemen nonstruktur) — komponen dan sistem arsitektural, mekanikal, dan elektrik, yang secara permanen terikat dengan bangunan.

occupancy (hunian) — tujuan penggunaan suatu bangunan atau struktur lainnya, atau bagiannya.

1
partitions (partisi) — dinding interior nonstruktural yang membentang secara horizontal atau vertikal dari tumpuan ke tumpuan; tumpuan dapat berupa portal gedung, komponen struktur, atau bagian lain dari sistem partisi.

pedestal (pedestal) — elemen struktur vertikal dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil kurang dari atau sama dengan 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial.

permanent load (beban permanen) — beban dengan variasi yang kecil dari waktu ke waktu.

pile (tiang) — elemen struktural yang dipancang atau ditanam di dalam tanah untuk menahan beban atau memadatkan tanah.

pile cap (kap tiang) — elemen beton yang mentransfer beban dari kolom atau pedestal ke satu atau lebih tiang pen dukung nya.

plain concrete (beton polos) — beton struktural tanpa tulangan atau dengan tulangan kurang dari minimum yang ditetapkan untuk beton bertulang.

positive moment (momen positif) — kondisi lentur dengan, untuk elemen struktur horizontal yang ditumpu oleh dua tumpuan sederhana, bentuk lendutannya dianggap cekung ke bawah dan serat atas mengalami tegangan tekan; untuk elemen dan ketentuan lainnya, dengan menganggap positif dan negatif sebagai istilah relatif.

positive reinforcement (tulangan positif) — tulangan baja untuk menahan momen lentur positif.

precast concrete (beton pracetak) — elemen beton struktural yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur (beton pracetak tidak dibahas dalam Panduan ini)

prestressed concrete (beton prategang) — beton struktural di mana tegangan internal diberikan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya tegangan tarik pada beton yang dihasilkan dari beban.

project drawings (gambar proyek) — gambar, yang bersama dengan spesifikasi proyek, melengkapi informasi deskriptif untuk konstruksi pekerjaan yang diperlukan dalam dokumen konstruksi.

project specifications (spesifikasi proyek) — dokumen tertulis yang menentukan persyaratan untuk suatu proyek sesuai dengan parameter layanan dan kriteria khusus lainnya yang ditetapkan oleh pemilik.

reinforced concrete (beton bertulang) — beton struktural yang ditulangi dengan jumlah tidak kurang dari tulangan minimum.

reinforced concrete wall (dinding beton bertulang) — dinding beton struktural yang dengan tulangan yang tidak kurang dari jumlah minimum baja tulangan prategang atau tulangan non-prategang sebagaimana ditentukan dalam peraturan bangunan yang berlaku; dinding geser adalah dinding beton bertulang.

reinforcement (tulangan) — tulangan baja berulir, kawat, atau wire mesh, yang ditanam dalam beton sedemikian sehingga dapat bekerja bersama dengan beton dalam menahan beban.

reshores (penopangan kembali) — perancah yang ditempatkan di bawah pelat beton atau komponen struktur lainnya setelah cetakan beton dan perancah dibongkar, sehingga pelat atau komponen struktur dapat melendut akibat berat sendirinya dan beban konstruksi yang ada sebelum pemasangan perancah ulang.

required strength (kekuatan perlu) — kekuatan komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam terkait dalam kombinasi seperti yang ditetapkan dalam Panduan ini.

retaining wall (dinding penahan) — dinding yang dibangun untuk menahan timbunan tanah di belakangnya.

sand (pasir) —

1. Bahan berbutir yang lolos ayakan 3/8 in. dan hampir seluruhnya melewati ayakan No. 4 dan sebagian besar tertahan di saringan No. 200, dan dihasilkan dari disintegrasi alami dan abrasi batuan atau pemrosesan batu pasir yang sepenuhnya gembur; dan

2. Porsi agregat yang lolos ayakan No. 4 dan sebagian besar tertahan di ayakan No. 200, dan dihasilkan dari disintegrasi alami dan abrasi batu atau pemrosesan batu pasir yang benar-benar gembur.

seismic hook (kait seismik) — kait pada sengkang, atau pengikat silang yang mempunyai bengkokan tidak kurang dari 135 derajat, kecuali untuk 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.

self-weight (berat sendiri) — berat komponen struktur itu sendiri, yang disebabkan dari berat jenis material pembuatnya.

service load (beban layan) — semua beban, baik statis maupun sementara yang diaplikasikan pada struktur atau elemen struktur pada kondisi operasional (tanpa faktor beban).

settlement (penurunan) — perpindahan ke bawah pada tanah pendukung

shear (geser) — gaya dalam tangensial terhadap bidang gaya itu bekerja.

shear reinforcement (tulangan geser) — tulangan yang didesain untuk menahan geser atau tegangan tarik diagonal.

shore (perancah) — elemen pendukung vertikal atau miring yang didesain untuk memikul berat cetakan, beton, dan beban konstruksi di atasnya.

shrinkage and temperature reinforcement (tulangan susut dan temperatur) — tulangan yang disediakan untuk menahan tegangan susut dan suhu di dalam beton.

silt (lanau) — bahan berbutir yang dihasilkan dari disintegrasi batuan, dengan butiran sebagian besar melewati saringan No. 200; sebagai alternatif, partikel-partikel tersebut mempunyai diameter berkisar dari 8×10^{-5} sampai 0,002 inci (2 μm sampai 50 μm).

slab (slab) — elemen beton bertulang yang rata, horizontal, dengan tebal yang biasanya seragam tetapi kadang-kadang dapat bervariasi (nonprismatis), baik di tanah atau ditopang oleh balok, kolom, atau dinding.

slab-on-ground (slab di tanah) — fondasi dangkal yang terdiri dari lempengan beton menerus, ditempatkan di atas tanah asli atau tanah dasar yang direkayasa, lewat mana beban didistribusikan ke tanah.

soil (tanah) — istilah umum untuk material permukaan alami yang tidak terkonsolidasi di atas batuan dasar.

soil bearing capacity (daya dukung tanah) — tegangan maksimum di bawah fondasi yang menyediakan keamanan yang memadai terhadap keruntuhan tanah and penurunan yang berlebihan.

solid slab (slab solid) — pelat dengan tebal seragam

span length (panjang bentang) — jarak horizontal antara tumpuan dari komponen struktural horizontal seperti pelat, balok *joist*, balok, atau girder, diukur antar pusat tumpuan.

specifications (spesifikasi) — dokumen tertulis yang menggambarkan secara rinci ruang lingkup kerja, material yang digunakan, metode pemasangan, and kualitas pembuatan.

specified compressive strength of concrete (kekuatan tekan terspesifikasi beton) — kekuatan tekan beton silinder pada umur 28 hari yang digunakan dalam desain dan evaluasi sesuai dengan standar ASTM, dinyatakan dalam MPa; setiap kali kuantitas f_c' berada di bawah tanda kuadrat $\sqrt{f_c'}$, akar kuadrat dari nilai numerik saja yang digunakan, dan hasilnya tetap satuannya sebagai MPa.

spread footing (fondasi tapak sebar) — umumnya prisma beton persegi panjang, dengan dimensi lateral yang lebih besar daripada kolom atau dinding yang ditopangnya, untuk mendistribusikan beban kolom atau dinding ke tanah dasar.

spiral reinforcement (tulangan spiral) — tulangan yang digulung menerus dalam bentuk lilitan melingkar.

stirrup (sengkang) — 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).

story height (tinggi tingkat) — jarak vertikal dari akhir lantai suatu tingkat (*story*) ke akhir lantai dari tingkat (*story*) di bawahnya

strength design method (metode desain kekuatan) — metode desain yang berdasarkan pada memastikan bahwa kekuatan desain yang diperoleh dengan mereduksi kekuatan nominal lebih besar daripada kekuatan yang dibutuhkan yang diperoleh dengan menerapkan faktor beban pada beban layan.

strength reduction factor (faktor reduksi kekuatan) ϕ — faktor reduksi kapasitas dalam desain struktur; angka yang kurang dari 1,0 dengan kekuatan nominal elemen struktur atau elemen dalam hal beban, momen, geser, atau tegangan perlu dikalikan untuk mendapatkan kekuatan atau kapasitas desain.

stress (tegangan) — intensitas gaya per satuan luas.

structural concrete (beton struktural) — semua beton yang digunakan untuk tujuan struktural termasuk beton prategang, beton bertulang, dan dalam kasus tertentu beton polos.

structural integrity (integritas struktur) — konsep desain bahwa setelah peristiwa kelebihan beban atau setelah kerusakan terjadi pada elemen pendukung utama, struktur memiliki ketangguhan (*toughness*) yang cukup untuk melokalisasi kerusakan dan memiliki stabilitas keseluruhan yang memadai untuk mencegah keruntuhan tiba-tiba.

tank (tangki) — wadah untuk penyimpanan air atau cairan lain (Panduan ini hanya mencakup tangki yang digunakan untuk penyimpanan air minum di lokasi di mana sistem pasokan air tidak dapat diandalkan).

tension reinforcement (tulangan tarik) — tulangan yang didesain untuk menahan tegangan tarik.

tie (sengkang ikat) — *loop* 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.

tie element (elemen ikat) — elemen yang berperan untuk mentransmisikan beban inersia dan mencegah perpisahan komponen bangunan seperti fondasi dan dinding.

transverse reinforcement (tulangan transversal) — tulangan yang terletak tegak lurus terhadap sumbu longitudinal dari komponen struktur, seperti sengkang, sengkang ikat, dan tulangan spiral.

wall (dinding) — komponen struktur, umumnya vertikal, yang digunakan untuk menutup atau memisahkan ruang.

web (badan) — bagian vertikal tipis dari penampang I yang menghubungkan bagian sayapnya (*flanges*).

wind load (beban angin) — tekanan angin nominal yang digunakan dalam desain.

wire (kawat) — batang besi berdiameter kecil.

¹
wire mesh (jaring kawat baja) — *wiremesh* adalah baja tulangan yang dianyam menjadi lembaran.

work (pekerjaan) — konstruksi keseluruhan atau bagian-bagian yang dapat diidentifikasi secara terpisah yang merupakan bagian daripadanya yang disyaratkan untuk dilengkapi menurut dokumen-dokumen kontrak.

working stress (tegangan kerja) — tegangan desain maksimum yang diizinkan dengan menggunakan metode desain tegangan ijin.

yield strength (kekuatan leleh) — kekuatan leleh atau titik leleh minimum tulangan terspesifikasi. Kekuatan leleh atau titik leleh harus ditetapkan dalam kondisi tarik menurut standar ASTM.

1 BAB 3 – TATA LETAK SISTEM STRUKTUR

3.1 – Deskripsi komponen struktur

Struktur bangunan terdiri dari beberapa komponen struktur seperti yang tercantum dalam 3.1.1 sampai 3.1.5.

3.1.1 Sistem lantai — Sistem lantai terdiri dari komponen–komponen struktural yang menyusun lantai pada suatu tingkat bangunan. Bab 6 mendeskripsikan berbagai tipe sistem lantai. Sistem lantai dapat mencakup girder, balok, joist, dan pelat yang membentang di antaranya atau pelat saja, yang didukung langsung oleh kolom, seperti pada sistem pelat–kolom.

3.1.2 Komponen pendukung vertikal — Komponen yang mendukung sistem lantai di setiap tingkat dan menyalurkan akumulasi beban gravitasi sampai ke struktur fondasi. Komponen struktur vertikal harus berupa kolom atau dinding beton bertulang.

3.1.3 Fondasi — Terdiri dari elemen struktural yang menyalurkan beban dari struktur ke tanah. Komponen struktur fondasi meliputi fondasi tapak setempat, kombinasi fondasi tapak setempat, fondasi rakit, basemen, dinding penahan tanah, dan balok pengikat. Struktur-struktur fondasi didefinisikan di dalam Bab 14. Fondasi dalam, yang meliputi tiang, fondasi kaisan, fondasi tiang, dan kap tiang berada di luar lingkup pedoman ini.

3.1.4 Sistem penahan gaya lateral — Terdiri dari komponen-komponen struktur yang, bekerja bersamaan, menahan dan menyalurkan beban lateral yang timbul akibat getaran gempa, angin, dan tekanan tanah lateral ke tanah. Struktur pelat lantai berperilaku sebagai suatu diafragma yang menyalurkan pada bidangnya gaya-gaya lateral dari titik kerjanya ke komponen vertikal pada sistem penahan gaya lateral. Komponen vertikal dari sistem penahan gaya lateral ini, selanjutnya, mengumpulkan beban yang timbul dari semua lantai dan menyalurkannya sampai ke fondasi dan melalui fondasi ke tanah di bawahnya. Untuk daerah dengan risiko gempa sedang atau tinggi, komponen-komponen vertikal utama dari sistem penahan gaya lateral harus menggunakan dinding beton bertulang.

3.1.5 Komponen struktur lainnya — Bagian lain dari struktur bangunan yang diatur dalam pedoman ini adalah tangga, ramp, tangki kecil untuk air minum, dan pelat di atas tanah.

3.2 – Umum

3.2.1 Rancangan arsitektur — Rancangan umum arsitektur dari bangunan harus dikoordinasikan dengan perancang struktur profesional berlisensi sebelum desain struktur dimulai. Rancangan umum arsitektur minimal harus memasukan poin-poin berikut:

- a) Geometri dan dimensi denah seluruh lantai gedung
- b) Elevasi gedung dan kontur lahan, termasuk ruang bawah tanah (basemen), jika ada
- c) Jenis atap, bentuk dan kemiringannya, jenis bahan kedap air, sarana untuk memfasilitasi limpasan air hujan dan salju yang mencair atau hujan es, dan lokasi saluran drainase
- d) Penggunaan ruangan di dalam gedung, pembagiannya, dan pembatasnya, pada seluruh lantai
- e) Tinggi bersih minimum arsitektural untuk setiap lantai
- f) Lokasi dan dimensi semua tangga, ramp, dan lift
- g) Jenis bahan penutup gedung, partisi internal, dan elemen-elemen arsitektur dan non-struktur
- h) Lokasi saluran dan lubang untuk utilitas seperti instalasi listrik, penerangan, pengatur suhu, ventilasi, pasokan air bersih, dan pembuangan air limbah, termasuk di dalamnya informasi yang cukup untuk mendeteksi pertemuan dengan komponen-komponen struktur
- i) Fitur arsitektur yang mungkin dapat mengurangi tebal efektif selimut beton

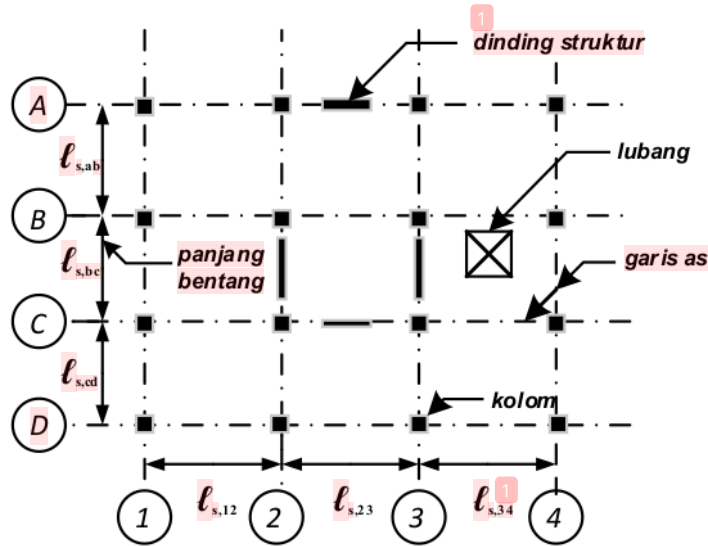
1
3.2.2 Rancangan struktur — Berdasarkan informasi umum dari rancangan arsitektur, perancang struktur profesional berlisensi harus menetapkan rancangan umum struktur untuk bangunan yang direncanakan. Rancangan umum struktur ini minimal harus mencakup ketentuan-ketentuan berikut:

- j) Tujuan penggunaan gedung
- k) Beban nominal yang terkait dengan penggunaan gedung
- l) Beban khusus yang ditentukan oleh pemilik gedung
- m) Beban seismik desain, jika gedung terletak di daerah gempa
- n) Beban angin yang sesuai dengan lokasi
- o) Beban salju, hujan es, atau hujan
- p) Ketahanan terhadap api
- q) Jenis atap dan pembebanannya jika tidak terbuat dari beton bertulang
- r) Informasi lokasi terkait kemiringan lahan dan lokasi drainase
- s) Daya dukung tanah izin dan rekomendasi sistem fondasi yang diambil dari penyelidikan geoteknik dan batasan tambahan yang terkait penurunan tanah yang terekspektasi
- t) Kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh variasi temperatur musiman dan harian lokal, kelembaban, adanya bahan kimia berbahaya, dan garam
- u) Ketersediaan, jenis, dan kualitas bahan seperti batang tulangan, semen, dan agregat
- v) Ketersediaan bahan bekisting
- w) Ketersediaan laboratorium pengujian untuk proporsi campuran beton dan kontrol kualitas beton selama masa konstruksi
- x) Ketersediaan tenaga kerja yang berkualitas
- y) Praktek konstruksi umum dan lokal yang berkelanjutan

3.3 – Tata letak struktur

3.3.1 Tata letak struktur umum — Perancang struktur profesional berlisensi harus mendefinisikan tata letak struktur yang direncanakan, termasuk informasi umum yang berlaku untuk semua tingkat dalam struktur bangunan (Gambar 3.3.1). Tata letak umum struktur harus meliputi:

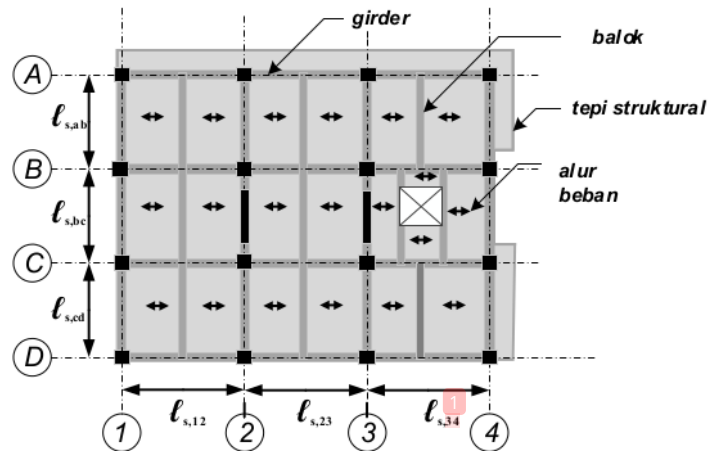
- a) Jarak sumbu grid, atau garis as, di kedua arah sumbu utama dari denah, yang berada pada perpotongan as penampang komponen-komponen struktur vertikal (struktur kolom dan dinding beton bertulang)
- b) Denah lokasi dari semua komponen pendukung vertikal, kolom dan dinding beton bertulang. Komponen-komponen struktur vertikal tersebut harus tetap vertikal dan menerus ke struktur fondasi. Dinding beton bertulang yang diizinkan adalah yang menerus ke struktur fondasi dan tidak memiliki bukaan jendela atau pintu
- c) Lokasi saluran perpipaan, lubang, lift, dan tangga yang menerus dari lantai ke lantai
- d) Jarak horizontal antar garis as, l_s , yang juga merupakan panjang bentang as ke as sistem lantai
- e) Lokasi dan distribusi semua dinding beton bertulang



Gambar 3.3.1 – Denah umum struktur rencana.

3.3.2 Tata letak lantai — Untuk setiap lantai, perancang struktur profesional berlisensi harus merencanakan suatu tata letak struktur lantai (Gambar 3.3.2). Susunan tata letak struktur lantai tersebut meliputi:

- Lokasi perimeter lantai terhadap sumbu grid utama
- Lokasi girder dan balok, atau setrip kolom dan tengah pada struktur dengan sistem slab-kolom
- Semua bukaan arsitektur penting yang terdapat pada lantai
- Perkiraan aliran beban dari seluruh area lantai ke balok dan girder pendukungnya



Gambar 3.3.2 – Tata letak struktur lantai tipikal.

3.3.3 Tata letak vertikal — Perancang struktur profesional berlisensi harus mendefinisikan tata letak struktur dalam bidang vertikal (Gambar 1.3.10). Tata letak struktur umum dalam arah vertikal meliputi:

- Jumlah lantai
- Tinggi antar tingkat setiap lantai, didefinisikan sebagai jarak vertikal dari permukaan lantai ke permukaan lantai berikutnya

- 1
- c) Kemiringan dan bentuk atap
- d) Jarak bersih arsitektur dari permukaan lantai ke permukaan plafon
- e) Ruang yang diperlukan untuk mengakomodasi distribusi tenaga listrik, pasokan air dan drainase, pemanas, ventilasi, dan pendingin udara
- f) Kemiringan medan dan hubungannya dengan lantai dasar atau basemen
- g) Kondisi lapisan tanah pendukung dan kedalaman muka air tanah

3.4 – Kelayakan penggunaan panduan ini

Jika salah satu kondisi yang dicantumkan dalam Bab 3 tidak terpenuhi, desain struktur harus dilakukan dengan menggunakan SNI 1726, SNI 1727, dan SNI 2847.

1
BAB 4 – BEBAN

4.1 – Umum

Informasi dan perhitungan pembebanan pada bab ini berdasarkan atas persyaratan SNI 1726 dan SNI 1727 yang berlaku.

4.2 – Faktor beban dan kombinasi beban

Kekuatan terfaktor terbesar yang diperlukan U , seperti yang didefinisikan pada 1.7.1, untuk elemen struktural harus ditentukan dengan menggunakan faktor beban dan kombinasi beban dari bagian ini. Hal-hal berikut ini berlaku:

- a) Setiap batas kekuatan yang relevan harus diinvestigasi, termasuk efek dari satu atau lebih beban yang tidak bekerja secara bersamaan.
- b) Dalam kombinasi beban dengan simbol "±" digunakan dalam memfaktorkan beban bolak-balik yang bekerja dalam satu arah atau berlawanan arah, harus diartikan sebagai tanda yang menghasilkan nilai U maksimum (positif) atau minimum (negatif).
- c) Efek yang paling kritis dari beban angin dan seismik harus dicek, tetapi efek angin dan seismik tidak perlu dipertimbangkan bekerja secara bersamaan.

4.2.1 *Beban hidup dan beban mati* — Kekuatan terfaktor yang diperlukan U untuk menahan beban mati D dan beban hidup L harus yang terbesar dari

$$U = 1,4D \quad (4.2.1a)$$

$$U = 1,2D + 1,6L \quad (4.2.1b)$$

4.2.2 *Beban hujan, dan beban hidup atap miring* — Kekuatan terfaktor yang dibutuhkan U untuk menahan beban hujan R , beban salju S atau beban hidup atap miring L_r , harus dievaluasi berdasarkan kombinasi beban berikut

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (R \text{ atau } S \text{ atau } L_r) \quad (4.2.2a)$$

$$U = 1,2D + 1,0L + 1,6 (R \text{ atau } S \text{ atau } L_r) \quad (4.2.2b)$$

4.2.3 *Beban angin* — Kekuatan terfaktor yang diperlukan U untuk menahan beban angin W harus dievaluasi berdasarkan kombinasi beban berikut

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0W + 0,5 (R \text{ atau } S \text{ atau } L_r) \quad (4.2.3a)$$

$$U = 1,2D \pm 0,5W + 1,6 (R \text{ atau } S \text{ atau } L_r) \quad (4.2.3b)$$

$$U = 0,9D \pm 1,0W \quad (4.2.3c)$$

Catatan: Pada SNI 1727, gaya angin didefinisikan pada level kekuatan.

4.2.4 *Beban seismik* — Kekuatan terfaktor yang diperlukan U untuk menahan beban seismik E harus dievaluasi berdasarkan kombinasi beban berikut

$$U = (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,2S \pm 1,0\rho_E E \quad (4.2.4a)$$

$$U = (0,9 - 0,2S_{DS})D \pm 1,0\rho_E E \quad (4.2.4b)$$

4.2.5 *Tekanan tanah* — Untuk elemen struktural yang menahan tekanan tanah lateral H , kekuatan faktor yang diperlukan U setidaknya harus sama dengan

$$U = 1,2D \pm 1,6L + 1,6H \quad (4.2.5)$$

1
Apabila struktur bangunan gedung secara keseluruhan menahan beban horizontal permanen yang tidak dikompensasi karena tekanan tanah lateral, $1,6H$ harus ditambahkan ke ruas kanan Persamaan. (4.2.3c) dan Persamaan. (4.2.4b).

4.2.6 Berat dan tekanan fluida—Untuk elemen yang menahan berat dan tekanan fluida dengan berat jenis yang dapat didefinisikan dengan baik dan ketinggian maksimum yang terkontrol, $1,4F$ pada Persamaan (4.2.1a) dan $1,2F$ pada Persamaan (4.2.1b) harus ditambahkan ke ruas kanan.

4.2.7 Efek lain—Jika efek struktural T dari penurunan diferensial, susut, atau perubahan suhu signifikan dalam perancangan, perhitungan perancangan tidak boleh dilakukan menggunakan panduan ini, tetapi harus menggunakan SNI 2847, dan SNI 1727.

4.3 – Masa dan berat

Perbedaan yang jelas antara masa dan berat harus dilakukan oleh perencana profesional yang bertanggung jawab pada seluruh perhitungan.

4.4 – Masa jenis bahan

Dalam menentukan beban mati, berat aktual material dan konstruksi harus digunakan. Apabila tidak ada informasi yang pasti, nilai-nilai perkiraan pada Tabel 4.4 dapat digunakan.

Tabel 4.4 – Masa jenis minimum material y untuk evaluasi beban mati dan beban hidup

Material	Masa jenis y , lb/ft ³	Masa jenis μ , kg/m ³	Material	Masa jenis y , lb/ft ³	Masa jenis μ , kg/m ³
Aluminium	170	2700	Besi		
Produk Aspal			Cetak	450	7200
Aspal dan tar	81	1300	Tempa	480	7700
Bensin	42	700	Timbal	710	11,400
Grafit	135	2160	Kapur		
Parafin	56	900	Terhidrasi, lepas	32	500
Minyak bumi	53	850	Terhidrasi, padat	45	800
Kuningan	526	8430	Pasangan bata, batu bata (padat)	115	1850
Perunggu	552	8850	Pasangan bata, beton (padat)	125	2150
Semen tipe <i>portland</i> , lepas	90	1440	Pasangan bata, graut	140	2250
Ubin keramik	150	2400	Pasangan bata, batu	162	2600
Arang	12	200	Semen mortar atau kapur	130	2100
Cinder fill	57	920	Papan partikel (<i>particleboard</i>)	45	750
Batubara, tumpukan	50	800	Kayu lapis	36	600
Beton, normal	144	2300	Pasir		
Beton, bertulang	150	2400	Bersih dan kering	90	1440
Tembaga	556	9000	Sungai, kering	106	1700
Gabus, terkompresi	14	250	Besi	488	7800
Tanah			Batu		
Tanah lempung, kering	63	1100	Basalt, granit, <i>gneiss</i>	169	2700
Tanah lempung, lembab	110	1750	Batu kapur, marmor, kuarsa	179	2850
Tanah lempung dan kerikil, kering	100	1600	Batu pasir	169	2700
Lumpur, moist, padat	96	1550	Serpih	163	2600
Lumpur, moist, lepas	78	1250	<i>Terra cotta</i>		
Pasir dan kerikil, kering, lepas	100	1600	Berongga, terisi	120	1950
Pasir dan kerikil, kering, padat	110	1750	Berongga, tidak terisi	72	1150
Pasir dan kerikil, basah	120	1900	Timah	459	7360
Kaca	160	2600	Air		
Kerikil, kering	104	1660	Tawar	62	1000
Gypsum, lepas	70	1150	Laut	64	1030
Gypsum, papan dinding	50	800	Kayu, kering udara (<i>seasoned</i>)	28 to 47	450 to 750
Es	57	920	Seng, gulungan lembaran	449	7200

4.5 – Beban mati

4.5.1 Definisi beban mati — Beban mati terdiri dari berat bahan konstruksi pada gedung, termasuk, tetapi tidak terbatas pada, struktur, dinding, lantai, atap, langit-langit, tangga, *ramp*, *finishing*, penutup permukaan bangunan (*cladding*), sistem arsitektur dan sistem struktur lainnya, dan peralatan pemeliharaan tetap. Pada penentuan beban mati untuk tujuan perancangan, berat material dan konstruksi aktual harus digunakan. Untuk tujuan perancangan, berat peralatan pemeliharaan tetap, seperti tumpukan dan riser pipa ledeng, instalasi listrik, dan sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara, harus diperhitungkan pada beban yang mati.

4.5.2 Berat sendiri beton — Masa jenis beton bertulang harus diambil sebesar 150 lb/ft³ (2.400 kg/m³).

4.5.3 Beban mati dari elemen nonstruktural — Beban mati dari elemen nonstruktural harus dibagi menjadi elemen nonstruktural vertikal dan horizontal.

4.5.3.1 Elemen nonstruktural datar — Elemen nonstruktural datar harus mencakup material konstruksi dengan dimensi vertikal yang secara substansial kurang dari dimensi horizontal dan dapat diaplikasikan, didukung, dipasang, dipermanenkan, ataupun digantung dari slab atau atap gedung. Elemen-elemen ini harus mencakup, tetapi tidak terbatas pada, slab permanen atau joist, plesteran lantai, isian lantai, pelapis lantai, isian atap miring, penutup atap, ubin, lapisan kedap air, insulasi termal, kaca atap, langit-langit, *furring*, dan saluran untuk servis.

Untuk keperluan perancangan, beban mati akibat elemen-elemen nonstruktural datar dapat dianggap sebagai beban vertikal seragam per unit luas permukaan horizontal atau proyeksi horizontal, diaplikasikan pada zona atau area yang bersesuaian di mana elemen-elemen nonstruktural datar tersebut berada. Dalam menentukan beban mati elemen nonstruktural datar, berat aktual material dan konstruksi dan tebal realistis harus digunakan. Sebagai panduan, Tabel 4.4 memberikan masa jenis minimum. (Kalikan nilai yang diberikan dengan tebal elemen yang bersesuaian dalam ft [m] untuk mendapatkan beban mati dalam lb/ft² [N/m²]). Pada Tabel 4.5.3.1a hingga 4.5.3.1d, nilai diberikan untuk beban mati dari material konstruksi elemen datar nonstruktural. Nilai-nilai yang disediakan pada Tabel 4.5.3.1a hingga 4.5.3.1d sesuai dengan nilai minimum rata-rata. Perencana profesional yang bertanggung jawab harus mempertimbangkan kemungkinan variasi nilai-nilai ini dari berbagai material lokal dan praktik konstruksi.

1 Tabel 4.5.3.1a – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: langit-langit

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² luas lantai	Beban (kN/m ²) per m ² luas lantai
Langit-langit		
Papan dinding akustik	1	0.05
Papan gypsum	0.55 (per 1/8 in. tebal)	0.0080 (per mm tebal)
Saluran mekanikal	4	0.20
Sistem sprinkler	6	0.30
Bagian penting dan sistem elektrikal	1	0.05
Plester pada ubin atau beton	5	0.25
Plester pada reng kayu	8	0.40
Sistem saluran baja yang digantung	2	0.10
Reng logam dan plester semen yang digantung	15	0.70
Reng logam dan plester gypsum yang digantung	10	0.50
Sistem penggantung dari kayu	2.5	0.15

Tabel 4.5.3.1b – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: isian lantai

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² luas lantai	Beban (kN/m ²) per m ² luas lantai
Isian lantai	(per in. tebal)	(per mm tebal)
Beton cinder	9	0.020
Beton ringan	8	0.015
Pasir	8	0.015
Batu beton	12	0.025

Tabel 4.5.3.1c – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: lantai

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² luas lantai	Beban (kN/m ²) per m ² luas lantai
Lantai dan Finishing Lantai		
Blok aspal (2 in. [50 mm]), 1/2 in. (12 mm) mortar	30	1.50
Finishing semen (1 in. [25 mm]) pada isian batu beton	32	1.50
Ubin keramik atau kuari (3/4 in. [20 mm]) pada 1/2 in. (12 mm) mortar	16	0.80
Ubin keramik atau kuari (3/4 in. [20 mm]) pada 1 in. (25 mm) mortar	23	1.10
Finishing beton	12 (per in. tebal)	0.020 (per mm tebal)
Lantai kayu keras, 7/7 in. (25 mm)	4	0.20
Linoleum atau ubin aspal, 1/4 in. (6 mm)	1	0.05
Marmer dan mortar pada isian batu-	33	1.60
Batu pipih	15 (per in. tebal)	0.030 (per mm tebal)
Genteng pipih rata pada 1 in. (25 mm) mortar	23	1.10
Lantai kerja, 3/4 in. (20 mm)	3	0.15

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² luas lantai	Beban (kN/m ²) per m ² luas lantai
Terazo 1-1/2 in. (40 mm) langsung diatas slab	19	0.90
Terazo 1 in. (25 mm) pada isian batu-beton	32	1.50
Terazo 1 in., (25 mm), 2 in. (50 mm) batu beton	32	1.50
Blok kayu 3 in. (75 mm) pada damar wangi, tanpa isian	10	0.50
Blok kayu 3 in. (75 mm) pada 1/2 in. (12 mm) mortar dasar	16	0.80

Tabel 4.5.3.1d – Elemen nonstruktural datar, beban mati minimum: penutup atap

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² luas pintu	Beban (kN/m ²) per m ² luas pintu
Penutup Atap		
Penutup asbes-semen	4	0.20
Penutup aspal	2	0.10
Ubin semen	16	0.80
Genteng tanah lempung termasuk mortar	25	1.20
Tembaga atau timah	1	0.05
Atap semen asbes bergelombang	4	0.20
Dek, logam, 20 gauge (tebal nominal 0.9 mm)	2.5	0.12
Dek, logam, 18 gauge (tebal nominal 1.2 mm)	3	0.15
Lantai struktur kayu 2 in. (50 mm)	5	0.25
Lantai struktur kayu 3 in. (75 mm)	8	0.40
Papan fiber, 1/2 in. (12 mm)	0.75	0.05
Selubung gipsum, 1/2 in. (12 mm)	2	0.10
Insulasi, Papan atap		
Kaca berserat atau kaca seluler	1.0 (per in. tebal)	0.0020 (per mm tebal)
Papan fiber	1.5 (per in. tebal)	0.0030 (per mm tebal)
Perlite	0.8 (per in. tebal)	0.0015 (per mm tebal)
Busa polystyrene	0.2 (per in. tebal)	0.0004 (per mm tebal)
Busa urethane dengan kulit	0.5 (per in. tebal)	0.0010 (per mm tebal)
Kayu lapis (tebal per in. [mm])	3.2 (per in. tebal)	0.0060 (per mm tebal)
Skylight, rangka logam, kaca kawat 3/8 in. (10 mm)	8	0.40
Membran tahan air		
Bitumen, tertutup kerikil	5.5	0.25
Bitumen, permukaan halus	1.5	0.10
Cairan yang diaplikasikan	1	0.05
Satu lapis lembaran	0.7	0.035
Selubung kayu	3.0 (per in. tebal)	0.0060 (per mm tebal)
Penutup kayu	3	0.15

4.5.3.2 Elemen nonstruktural vertikal — Elemen nonstruktural vertikal harus mencakup material konstruksi yang dimensi vertikalnya secara substansial lebih besar daripada dimensi horizontal terkecil dan berdiri bebas, didukung oleh atau melekat pada elemen struktural vertikal, atau menjangkau secara vertikal dari lantai ke lantai. Elemen-elemen ini termasuk, tetapi tidak terbatas pada, fasad, dinding nonstruktural, partisi, penutup dinding, *veneer*, ornamen arsitektur, jendela, pintu, dan saluran vertikal untuk servis. Di gedung-gedung perkantoran atau gedung lain di mana partisi dapat diletakkan atau ditata ulang, ketentuan untuk berat partisi harus dibuat, apakah partisi ditampilkan pada gambar arsitektur atau tidak. Beban mati harus dimasukkan sebagai beban vertikal seragam per unit luas permukaan horizontal, dalam lb/ft² (kN/m²).

Beban mati dari elemen nonstruktural vertikal dapat dianggap sebagai beban terpusat atau beban garis yang seragam per unit panjang elemen nonstruktural. Sebagai panduan, masa jenis minimum diberikan pada Tabel 4.4. Kalikan nilai dengan tebal elemen yang bersesuaian dalam ft (m) dan dengan tinggi elemen dalam ft (m) untuk mendapatkan beban mati garis yang seragam, dalam lb / ft (N/m). Pada Tabel 4.5.3.2a hingga 4.5.3.2e, nilai yang diberikan untuk beban mati dari material konstruksi elemen nonstruktural vertikal tipikal, dalam lb (kN) per unit luas dalam ft² (m²). Untuk mendapatkan beban mati garis yang seragam, dalam lb/ft (kN/m), kalikan nilai yang disarankan pada Tabel 4.5.3.2a hingga 4.5.3.2e dengan tinggi elemen nonstruktural vertikal dalam ft (m). Nilai-nilai yang diberikan pada Tabel 4.4 dan 4.5.3.2a hingga 4.5.3.2e sesuai dengan nilai minimum rata-rata tipikal; perencana profesional yang bertanggung jawab harus mempertimbangkan variasi nilai-nilai ini berdasarkan bahan lokal dan praktik konstruksi lokal.

Tabel 4.5.3.2a – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: penutup dinding

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam lb/ft)	Beban (kN/m ²) per m ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam m untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m)
Penutup untuk dinding		
Ubin semen	16	0.80
Papan fiber, 1/2 in. (12 mm)	0.75	0.05
Selubung gipsum, 1/2 in. (12 mm)	2	0.10
Insulasi, Papan Dinding		
Kaca berserat atau kaca seluler	1.0 (per in. tebal)	0.0020 (per mm tebal)
Papan fiber	1.5 (per in. tebal)	0.0030 (per mm tebal)
Perlite	0.8 (per in. tebal)	0.0015 (per mm tebal)
Busa polystyrene	0.2 (per in. tebal)	0.0004 (per mm tebal)
Busa urethane dengan kulit	0.5 (per in. tebal)	0.0010 (per mm tebal)
Kayu lapis (tebal per in. (mm))	3.2 (per in. tebal)	0.0060 (per mm tebal)
Selubung kayu	3.0 (per in. tebal)	0.0060 (per mm tebal)

1
Tabel 4.5.3.2b – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: partisi ringan

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam lb/ft)	Beban (kN/m ²) per m ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam m untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m)
Partisi ringan		
Partisi baja yang dapat dipindah (<i>non-full height</i>)	6	0.30
Partisi baja yang dapat dipindah (<i>full height</i>)	4	0.20
Stud kayu atau baja, papan gypsum 1/2 in. (12 mm) di setiap sisi	8	0.80
Stud kayu, 2 x 4 in. (50 x 100 mm), tidak diplester	4	0.30
Stud kayu, 2 x 4 in. (50 x 100 mm), diplester satu sisi	12	0.60
Stud kayu, 2 x 4 in. (50 x 100 mm), diplester dua sisi	20	1.00

Tabel 4.5.3.2c – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: veneer

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam lb/ft)	Beban (kN/m ²) per m ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m)
Lapisan		
Granit	9 (per in. tebal)	0.017 (per mm tebal)
Batu gamping	8 (per in. tebal)	0.015 (per mm tebal)
Batu pasir	7 (per in. tebal)	0.013 (per mm tebal)
Keramik	8 (per in. tebal)	0.015 (per mm tebal)

Tabel 4.5.3.2d – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: dinding

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam lb/ft)	Beban (kN/m ²) per m ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam m untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m)
Dinding		
Dinding stud luar (Stud baja atau kayu):		
2 x 4 in. (50 x 100 mm) pada 16 in. (400 mm), 5/8 in. (15 mm) gipsum, dinsulasi, 3/8 in. (10 mm) bersisian	11	1.00
2 x 6 in. (50 x 150 mm) pada 16 in. (400 mm), 5/8 in. (15 mm) gipsum, dinsulasi, 3/8 in. (10 mm) bersisian	12	
Dinding eksterior dengan lapisan	48	2.30
Unit dinding batu bata padat:	Tebal dinding, in. 4 8 12 16	Tebal dinding, mm 100 150 200 250 300
Tidak diplester	39 79 115 155	1.90 2.90 3.80 4.70 5.50
Unit dinding ubin batu bata:	Tebal dinding, in. 4 6 8 10 12	Tebal dinding, mm 100 150 200 250 300
Diplester di dua sisi	37 52 64 79 91	1.80 2.50 3.10 3.80 4.40
Tidak diplester	27 41 54 68 81	1.30 2.00 2.60 3.30 3.90
Unit dinding bata beton berongga:	Tebal dinding, in.	Tebal dinding, mm
Tidak di grout	4 6 8 10 12	100 150 200 250 300
48 in. (1.2 m) pada jarak grout	29 30 39 47 54	1.40 1.45 1.90 2.25 2.60
40 in. (1.0 m) pada jarak grout	36 47 57 66	1.70 2.25 2.70 3.15
32 in. (0.8 m) pada jarak grout	37 48 59 69	1.80 2.30 2.80 3.30
24 in. (0.6 m) pada jarak grout	38 50 62 72	1.80 2.40 3.00 3.45
16 in. (0.4 m) pada jarak grout	41 54 67 78	2.00 2.60 3.20 3.75
Grout penuh	46 61 76 90	2.20 2.90 3.60 4.30
	62 83 105 127	3.00 4.00 5.00 6.10
Unit dinding bata beton padat	Tebal dinding, in. 4 6 8 10 12	Tebal dinding, mm 100 150 200 250 300
Tidak diplester	41 64 87 110 133	2.00 3.10 4.20 5.30 6.40

Tabel 4.5.3.2e – Elemen nonstruktural vertikal, beban mati minimum: jendela

Komponen	Beban (lb/ft ²) per ft ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam ft untuk mendapatkan beban garis dalam lb/ft)	Beban (kN/m ²) per m ² permukaan vertikal (dikali dengan tinggi elemen dalam m untuk mendapatkan beban garis dalam kN/m)
Jendela		
Dinding tirai kaca, kaca, bingkai dan selempang	10	0.50
Jendela, kaca, bingkai, dan selempang	8	0.40

Beban mati dari elemen nonstruktural vertikal internal, seperti dinding dan partisi internal, dapat dianggap sebagai beban mati vertikal yang seragam per unit luas apabila member struktural sekunder dari sistem lantai mampu mendukung beban terpusat atau beban garis merata, tanpa melemahkan kekuatan dan kemampuan layan sistem lantai atau elemen nonstruktural. Apabila dalam kondisi vertikal, elemen nonstruktural lebih dari satu lantai, beban matinya harus dianggap sebagai beban terkonsentrasi atau beban garis. Beban fasad dan elemen dari selungkup gedung harus dianggap sebagai beban garis pada tepi slab.

4.5.3.3 Nilai minimum alternatif untuk beban mati elemen nonstruktural—Untuk gedung dengan ketinggian antar lantai tidak melebihi 10 ft (3 m), nilai minimum, dalam lb/ft² (kN/m²), dari luas lantai horizontal yang diberikan pada Tabel 4.5.3.3 untuk hunian yang sesuai dapat digunakan sebagai pengganti analisis detail dari beban mati yang disebabkan oleh elemen nonstruktural.

1
Tabel 4.5.3.3 – Nilai beban mati minimum alternatif untuk elemen nonstruktural apabila tidak dilakukan analisis detail

	Hunian		Fasad dan partisi, lb/ft ² (kN/m ²) per ft ² (m ²) luas lantai	Pelapis lantai dan langit-langit, lb/ft ² (kN/m ²) per ft ² (m ²) luas lantai
Kelompok A-Assembly (Pertemuan)	A-2	Gedung memiliki ruang pertemuan dengan kapasitas kurang dari 100 orang dan tidak memiliki panggung	20 (1.0)	40 (1.8)
	A-3			
Kelompok B-Business (Bisnis)	B	Partisi dengan tinggi penuh yang dapat dipindahkan	20 (1.0)	40 (1.8)
		Partisi tetap dari pasangan bata	45 (2.0)	40 (1.8)
Kelompok E-Educational (Pendidikan)	E	Ruang kelas	45 (2.0)	35 (1.5)
Kelompok F-Factory (Pabrik)	F-1	Industri ringan	18 (0.8)	35 (1.6)
	F-2			
Kelompok I-Institutional (Kelembagaan)	I-1	Tempat tinggal and fasilitas perawatan	45 (2.0)	35 (1.6)
	I-3	Penjara, panti rehabilitasi, pusat penahanan	55 (2.5)	40 (1.8)
	I-4	Fasilitas penitipan anak	45 (2.0)	35 (1.6)
Kelompok M-Mercantile (Perdagangan)	M	Etalase dan tempat penjualan barang dagangan	35 (1.5)	30 (1.4)
Kelompok R-Residential (Hunian)	R	Fasad dan partisi dari batu bata	65 (3.0)	35 (1.6)
		Fasad dan partisi ringan	45 (2.0)	30 (1.4)
Kelompok S-Storage (Penyimpanan)	S-2	Penyimpanan bahan ringan	35 (1.5)	35 (1.5)
Kelompok U-Utility and Miscellaneous (Utilitas dan lain-lain)	U	Garasi untuk kendaraan dengan daya angkut hingga 4000 lb (1800 kg)	5 (0.2)	20 (1.0)

4.5.4 Peralatan tetap — Beban mati peralatan tetap harus diberikan oleh fabrikasi dari peralatan tersebut.

4.6 – Beban hidup

Beban hidup dihasilkan oleh penggunaan dan hunian gedung dan tidak termasuk beban konstruksi atau beban lingkungan seperti angin, hujan, seismik, ataupun beban mati. Beban hidup harus merupakan beban maksimum yang diharapkan untuk penggunaan atau hunian dimaksud tetapi tidak boleh kurang dari beban unit yang didistribusikan secara seragam yang diberikan pada Tabel 4.6 untuk hunian yang sesuai.

1
Tabel 4.6 – Beban hidup terdistribusi merata minimum

Hunian atau penggunaan		Beban merata (lb/ft ²) per ft ² luas lantai	Beban merata (kN/m ²) per m ² luas lantai
Kelompok A-Assembly (Pertemuan)	Balkon	125	6.0
	Koridor dan tangga	125	6.0
	Gimnasium	125	6.0
	Lobby	125	6.0
	Kursi yang dapat dipindah	125	6.0
	Area rekreasi	100	5.0
	Platform	125	6.0
Kelompok B-Business (Bisnis)	Koridor dan tangga	115	5.5
	Kantor	50	2.5
	Restoran	115	5.5
Kelompok E-Educational (Pendidikan)	Ruang kelas	65	3.0
	Koridor dan tangga	125	6.0
	Perpustakaan	—	—
	Ruang baca	75	3.5
Kelompok F-Factory (Pabrik)	Kamar susun	170	8.0
	Industri ringan	150	7.0
Kelompok I-Institutional (Kelembagaan)	Ruang operasi, laboratorium	85	4.0
	Bangsai dan kamar privat	50	2.5
	Koridor dan tangga	115	5.5
Kelompok M-Mercantile (Perdagangan)	Toko Pengecer	115	5.5
	Grosir	150	7.0
Kelompok R-Residential (Hunian)	Balkon	115	5.5
	Kamar pribadi dan koridor layanan	50	2.2
	Ruang publik dan koridor layanan	115	5.5
	Tangga	125	6.0
Kelompok S-Storage (Penyimpanan)	Lampu pencahayaan	140	6.5
Kelompok U-Utility and Miscellaneous (Utilitas dan lain-lain)	Garasi mobil penumpang	60	2.8

4.7 – Beban hidup atap

Beban hidup atap tidak boleh kurang dari beban hidup maksimum yang digunakan untuk gedung, dan apabila tipe hunian merupakan campuran dari beberapa tipe, digunakan nilai maksimum dari tipe-tipe hunian tersebut. Meskipun beban langsung atap ini tidak diharuskan oleh SNI 2847 dan SNI 1726, gedung di beberapa negara biasanya menambahkan lantai tambahan selama masa layanan struktur. Nilai beban hidup ini memperhitungkan kemungkinan ini. Ketika atap adalah adalah atap bukan beton dengan kemiringan lebih besar dari 15 derajat, didukung oleh struktur baja atau kayu, diizinkan untuk menggunakan beban hidup atap 20 lb/ft² (0,80 kN/m²).

4.8 – Beban hujan

Setiap bagian atap harus dirancang untuk menopang akumulasi air hujan ketika sistem drainase untuk bagian tersebut tersumbat.

4.9 – Beban salju (tidak relevan)

4.10 – Beban angin

4.10.1 Umum — Bagian ini menjelaskan metode untuk menghitung beban angin pada gedung dan pada masing-masing elemen struktural dan *cladding*. Prosedur dan nilai-nilai yang diberikan oleh peraturan gedung lokal harus digunakan untuk mendapatkan beban angin. Dengan tidak adanya peraturan gedung lokal, untuk gedung dengan bentuk geometris reguler, karakteristik respons, dan lokasi situs, hal-hal yang tertuang berikut ini harus diterapkan. Gedung yang tidak memenuhi kategori-kategori ini harus dipertimbangkan di luar ruang lingkup peraturan ini.

4.10.1.1 Prosedur — Tekanan angin dan beban angin pada level kekuatan harus ditentukan sesuai dengan Langkah 1 hingga Langkah 6, mengingat bahwa beban angin gedung didasarkan pada luas bruto yang terekspos pada arah angin tinjauan, sedangkan komponen dan beban angin *cladding* didasarkan pada luas elemen yang diteliti.

Langkah 1: Tekanan kecepatan q_h harus ditentukan sesuai dengan 4.10.2.1 dan 4.10.2.2.

Langkah 2: Koefisien tekanan C_{su} yang sesuai seharusnya dipilih dari 4.10.3, berdasarkan kondisi permukaan gedung yang terbuka, dengan asumsi bahwa angin bekerja pada arah positif dan negatif dalam kedua arah utama denah gedung.

Langkah 3: Tekanan kecepatan q_h dipengaruhi oleh koefisien gaya dan dikalikan dengan luas permukaan yang terbuka A_{su} harus digunakan untuk menentukan gaya angin statis rencana F_{su} yang bekerja pada arah normal ke permukaan gedung yang terbuka.

Langkah 4: Komponen pada arah angin dari beban angin statis yang bekerja pada permukaan, F_{sw} harus ditambahkan secara aljabar untuk mendapatkan gaya geser dasar angin V_w untuk gedung di setiap arah utama perancangan, dalam kedua arah positif dan negatif.

Langkah 5: Beban angin statis yang bekerja pada bagian struktural dan *cladding* harus digunakan untuk merancang elemen individual dan keterikatannya pada struktur.

Langkah 6: Beban angin statis yang bekerja pada gedung harus digunakan untuk merancang elemen-elemen sistem penahan beban lateral dan stabilitas keseluruhan struktur.

4.10.2 Perhitungan beban angin

4.10.2.1 Perhitungan tekanan kecepatan — Tekanan kecepatan q_h pada ketinggian atap rata-rata h_r di atas daerah tinjauan harus dihitung berdasarkan Persamaan (4.10.2.1a) dan Persamaan (4.10.2.1b)

$$q_h = \frac{1}{400} V^2 \left(\frac{h_r}{33} \right)^{\frac{2}{7}} \quad (q_h \text{ dalam lb/ft}^2, h_r \text{ dalam ft, and } V \text{ dalam mph}) \quad (4.10.2.1a)$$

$$q_h = \frac{1}{1.630} V^2 \left(\frac{h_r}{10} \right)^{\frac{2}{7}} \quad (q_h \text{ dalam KN/m}^2, h_r \text{ dalam m, and } V \text{ dalam m/s}) \quad (4.10.2.1b)$$

4.10.2.2 Pemilihan kecepatan angin dasar — Kecepatan angin dasar pada level kekuatan, V , berhubungan dengan kecepatan hembusan 3 detik pada 33 ft. (10 m) di atas tanah yang diukur di daerah terbuka dengan penghalang yang tersebar acak yang memiliki ketinggian kurang dari 33 ft. (10 m), dengan periode ulang rata-rata 300 tahun. Peluang terlampaui 15 persen dalam periode 50 tahun atau probabilitas tahunan untuk kecepatan angin dasar akan terlampaui adalah 0,00333. Kecepatan angin yang digunakan harus berdasarkan peta angin Indonesia.

4.10.2.3 Beban angin pada gedung — Level kekuatan angin ekuivalen dari gaya angin yang bekerja pada arah normal permukaan yang terpapar angin harus dihitung menggunakan Persamaan (4.10.2.3a). Terlepas dari kondisi terbuka dari permukaan yang terpapar, luas bruto harus digunakan.

$$F_{su} = q_h A_{su} C_{su} \quad (4.10.2.3a)$$

dengan A_{su} adalah luas permukaan yang terpapar, dan C_{su} adalah nilai yang diberikan pada 4.10.3.

Nilai positif F_{su} menunjukkan bahwa gaya bekerja ke arah permukaan yang terpapar, dan nilai negatif menunjukkan bahwa gaya bekerja berlawanan arah dari permukaan (hisap). Gaya angin rencana pada level x , F_x , karena angin pada arah utama pada denah harus dihitung sebagai jumlah dari seluruh permukaan angin yang terpapar dari suatu tingkat menggunakan Persamaan (4.10.2.3b).

$$F_x = \sum_{w=1}^n (F_{su}^{(w)} \cos \alpha_w \cos \beta_w) \quad (4.10.2.3b)$$

dengan α_w adalah sudut horizontal antara normal ke permukaan dan arah utama perancangan, dan β_w merupakan sudut vertikal antara normal ke permukaan dan garis horizontal.

Pada Persamaan (4.10.2.3b), dibutuhkan kehati-hatian dalam mendefinisikan tanda yang akan digunakan untuk F_{su} yang berhubungan dengan arah kerja gaya.

Gaya geser dasar angin V_w , pada arah utama rencana sesuai dengan jumlah total beban angin tingkat F_x pada arah utama perancangan yang dikaji.

4.10.2.4 Beban angin pada komponen dan cladding—Perhitungan level kekuatan angin pada komponen dan cladding harus menggunakan Persamaan (4.10.2.4).

$$F_{pw} = q_h A_p C_p \quad (4.10.2.4)$$

A_p adalah komponen luas permukaan yang terbuka, dan C_p adalah tekanan permukaan komponen.

4.10.3 Koefisien tekanan

4.10.3.1 Koefisien tekanan untuk gedung — Koefisien pada Tabel 4.10.3.1 harus digunakan untuk perhitungan beban angin pada gedung. Perhatikan bahwa koefisien mencerminkan arah gaya, relatif terhadap arah elemen. Dalam hal efek beban total gedung untuk permukaan vertikal, nilai absolut harus ditambahkan.

4.10.3.2 Koefisien tekanan untuk komponen dan cladding—Koefisien tekanan pada Tabel 4.10.3.2 harus digunakan untuk perhitungan beban angin level kekuatan pada komponen dan cladding, positif untuk tekan dan negatif untuk hisap.

4.11 – Beban seismik

4.11.1 Umum — Ketahanan terhadap beban seismik harus disediakan dengan menggunakan sistem dinding beton bertulang yang kontinu dari atap ke fondasi di kedua arah utama dalam rencana. Dinding beton bertulang menghasilkan struktur kaku dengan periode dasar getaran pendek dan beban seismik yang diberikan dalam panduan ini mencerminkan jenis struktur ini. Perhitungan beban seismik untuk struktur yang lebih fleksibel berada di luar ruang lingkup panduan ini. Informasi seismik tambahan diberikan pada Bab 11.

4.11.2 Gerak tanah seismik

4.11.2.1 Beban seismik dan perancangan seismik — Beban seismik rencana yang ditentukan dalam standar SNI 1726 harus digunakan, dengan memenuhi 4.11.2.2 dan 4.11.2.3.

4.11.2.2 Parameter percepatan spektral desain — Parameter percepatan spektral desain gempa pada periode pendek, S_{DS} , harus ditentukan dari prosedur yang ditetapkan dalam SNI 1726. Ordinat spektral desain untuk menentukan beban seismik, S_a , dari panduan ini sama dengan S_{DS} .

4.11.2.3 Kategori desain seismik (KDS) — Kategori desain seismik mengikuti SNI 1726.

4.11.2.4 Beban seismik dan perancangan seismik — Beban seismik dan perancangan seismik mengikuti SNI 1726.

4.11.2.4.1 Jenis profil tanah — Berdasarkan jenis tanah yang ada pada lokasi gedung, profil tanah harus diklasifikasikan sebagai salah satu diantara berikut:

a) Profil tanah S_A : batuan keras yang kecepatan gelombang geser terukurnya $\bar{v}_s > 5.000$ ft/s (1.500 m/s)

b) Profil tanah S_B : batuan dengan patahan dan pelapukan sedang yang kecepatan gelombang geser terukurnya dalam kisaran 5.000 ft/s $\geq \bar{v}_s > 2.500$ ft/s (15.00 m/s $\geq \bar{v}_s > 760$ m/s).

c) Profil tanah S_C : batuan yang lapuk atau patah, atau tanah padat/kaku, yang kecepatan gelombang geser terukurnya dalam kisaran 2.500 ft/s $\geq \bar{v}_s > 1.200$ ft/s (760 m/s $\geq \bar{v}_s > 370$ m/s) atau, pada kedalaman 100 ft (30 m), nilai resistensi uji penetrasi standar (SPT) memiliki nilai rata-rata $\bar{N} > 50$ atau kekuatan geser lempungnya $s_u \geq 2.000$ lb/ft² ($s_u \geq 100$ kPa).

d) Profil tanah S_D : dominan tanah sedang-padat ke padat, atau tanah sedang-kaku ke 100 ft. (30 m), kaku, dengan kecepatan gelombang geser terukur dalam kisaran 1.200 ft/s $\geq \bar{v}_s > 600$ ft/s (370 m/s $\geq \bar{v}_s > 180$ m/s) atau apabila pada kedalaman 100 ft. (30 m), nilai resistansi SPT memiliki nilai rata-rata di kisaran $15 < \bar{N} \leq 50$, atau kekuatan geser lempungnya pada kisaran 1.000 lb/ft² $\leq s_u < 2.000$ lb/ft² (50 kPa $\leq s_u < 100$ kPa).

e) Profil tanah S_E : profil tanah dengan kecepatan gelombang geser terukur $\bar{v}_s \leq 600$ ft/s (180 m/s), atau nilai resistansi SPT memiliki rata-rata $\bar{N} \leq 15$ pada kedalaman 100 ft (30m), atau memiliki lebih dari 10 ft (3 m) plastik (indeks plastisitas tanah $[PI] > 20$), kadar air tinggi ($w > 40$ persen), dan lempung dengan kekuatan geser rendah ($s_u < 500$ lb/ft² [$s_u < 25$ kPa]).

f) Tanah yang rentan terhadap gempa: situs-situs di mana profil tanah mengandung tanah yang memiliki satu atau lebih karakter-karakter berikut berada di luar cakupan panduan ini:

i. Tanah yang rentan terhadap kegagalan potensial atau runtuh karena gerak seismik, seperti tanah yang dapat terliquifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah dan mudah runtuh (*collapsible weakly cemented soil*)

ii. Gambut, lempung sangat organik, atau keduanya, dengan tebal lebih dari 10 ft. (3 m).

iii. Lempung dengan plastisitas sangat tinggi ($PI > 75$) dengan tebal lebih dari 25 ft. (8 m).

iv. Lempung dengan kekakuan lunak hingga sedang dengan tebal lebih dari 120 ft. (40 m).

Apabila profil dan sifat-sifat tanah tidak diketahui dengan baik dan terperinci untuk menentukan tipe profil tanah, profil tanah S_D harus digunakan.

4.11.2.4.2 Efek situs — Efek situs mengikuti SNI 1726.

4.11.2.5 Zona risiko seismik — Zona risiko seismik mengikuti SNI 1726.

4.11.2.6 Ordinat spektrum respons desain — Ordinat spektrum respons desain elastis S_a untuk rasio redaman kritis 5 persen, dinyatakan sebagai bagian dari percepatan gravitasi, harus dihitung berdasarkan

$$S_a = S_{DS} \quad (4.11.2.6)$$

4.11.3 Gaya geser dasar seismik desain

4.11.3.1 Sistem struktur tahan gempa — Sistem struktur tahan gempa yang digunakan dalam panduan ini diklasifikasikan sebagai sistem rangka ganda, dengan rangka pemikul momen menahan beban gravitasi, tahanan untuk beban lateral oleh dinding beton bertulang, dengan rangka pemikul momen memberikan tambahan tahanan lateral minimum. Dinding beton bertulang yang menahan beban lateral tidak diizinkan menahan beban aksial vertikal yang lebih besar dari kekuatan aksialnya pada titik seimbang (*balanced point*) (Persamaan (5.12.4.1a)).

4.11.3.2 Kapasitas disipasi energi dari sistem struktur pemikul gaya seismik — Kapasitas disipasi energi pada kondisi inelastik dari sistem struktur pemikul gaya seismik, yang dideskripsikan oleh faktor modifikasi respons, harus memiliki nilai $R_s = 5,0$.

4.11.3.3 *Perhitungan gaya geser dasar desain seismik* — Gaya geser dasar desain seismik V_{bs} , setara dengan efek inersia horizontal total yang disebabkan oleh gerak tanah seismik, harus ditentukan menggunakan Persamaan (4.11.3.3).

$$V_{bs} = \frac{S_a W_s}{R_s} \quad (4.11.3.3)$$

dengan S_a harus ditentukan berdasarkan Persamaan (4.11.2.6); R_s adalah faktor modifikasi respons yang ditentukan berdasarkan 4.11.3.2; dan W_s merupakan berat total gedung. W_s harus termasuk berat total struktur ditambah bobot seluruh elemen nonstruktural, seperti dinding dan partisi, peralatan permanen, tangki, dan cairan yang ada didalamnya. Pada ruang penyimpanan, W_s juga harus mencakup 25 persen dari beban hidup.

4.11.4 *Distribusi vertikal beban seismik desain* — Total gaya geser dasar desain seismik harus didistribusikan pada ketinggian gedung dengan menggunakan Persamaan (4.11.4a) dan Persamaan (4.11.4b). Pada setiap tingkat lantai yang dinamakan x , F_x harus dibebankan pada area gedung sesuai dengan distribusi massa pada setiap tingkat.

$$F_x = C_{vx} V_{bs} \quad (4.11.4a)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n (w_i h_i)} \quad (4.11.4b)$$

4.12 – Berat tanah dan tekanan lateral

Perancangan dinding besmen dan elemen-elemen vertikal serupa di bawah tanah harus mencakup tekanan lateral tanah yang melingkupinya berdasarkan 4.13.2.3.

4.13 – Beban lateral

4.13.1 Umum — Seluruh beban lateral yang dapat diterapkan seperti yang dijelaskan dalam Bab 4 harus diperhitungkan dalam perancangan. Kemungkinan terjadinya simultan beban lateral dengan beban lainnya harus dievaluasi menggunakan kombinasi beban 4.2. Alur beban kontinu dari titik aplikasi gaya lateral ke elemen struktural pemikul gaya lateral harus diidentifikasi, dan seluruh elemen di sepanjang alur beban harus memiliki kekuatan yang memadai.

4.13.2 Penerapan beban lateral

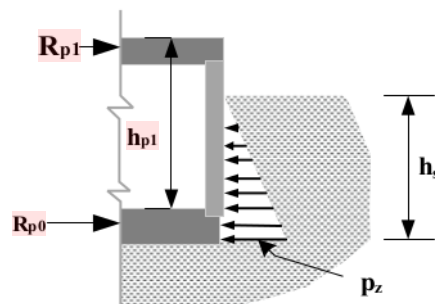
4.13.2.1 Beban angin — Beban angin harus ditentukan berdasarkan 4.10. Beban angin level kekuatan horizontal, F_x pada setiap level x dan dalam setiap arah utama pada denah harus merupakan jumlah komponen angin datang (*windward*) dan angin pergi (*leewards*) seperti yang ditentukan oleh 4.10.2.3. Gaya geser dasar angin V_o dan distribusinya pada tinggi gedung harus ditentukan untuk kedua arah utama pada denah, sebagaimana ditentukan oleh 4.13.3. Momen *overturning* M_{ot} , yang disebabkan oleh beban angin di kedua arah utama pada denah, harus ditentukan sebagaimana ditentukan oleh 4.13.4. Penerapan beban angin yang dihasilkan pada setiap lantai dan arah utama harus dihitung, dan momen puntir pada struktur, T_i , pada sumbu vertikal harus dievaluasi sebagaimana ditentukan oleh 4.13.5 untuk setiap lantai.

4.13.2.2 Beban seismik — Beban seismik harus ditentukan berdasarkan 4.11. Beban seismik horizontal F_x pada setiap level x dan pada setiap arah utama pada denah harus ditentukan berdasarkan 4.11.4. Gaya geser dasar lateral V_o dan distribusinya sepanjang tinggi gedung harus ditentukan oleh 4.11.3.3 dan 4.13.3 untuk kedua arah utama pada denah. Momen *overturning* M_{ot} akibat beban seismik di kedua arah utama denah bangunan harus ditentukan berdasarkan 4.13.4. Titik pemberian gaya seismik di setiap lantai harus pada pusat masa diafragma lantai. Efek dari eksentrisitas antara pusat masa diafragma lantai dan pusat kekakuan yang berhubungan dengan elemen struktur penahan beban lateral harus dihitung, dan momen torsi pada struktur, T_i , pada sumbu vertikal harus dievaluasi berdasarkan 4.13.5 untuk setiap lantai.

4.13.2.3 Beban lateral tanah — Beban lateral akibat tekanan tanah harus ditentukan berdasarkan Bab 14. Akibat batasan yang diberikan pada 1.3.2 dan 1.3.10, dinding penahan yang ditahan secara lateral oleh gedung hanya diperbolehkan setinggi satu lantai. Reaksi dari tekanan tanah lateral pada lantai pertama per unit panjang horizontal dinding penahan harus dihitung menggunakan Persamaan (4.13.2.3).

$$R_{p1} = \frac{p_z h_s^2}{6h_{p1}} \quad (4.13.2.3)$$

dengan p_z adalah tekanan lateral pada kedalaman tanah, h_s , (14.11.2); dan h_{p1} adalah tinggi lantai pertama (Gambar 4.13.2.3).



Gambar 4.13.2.3 – Reaksi lateral akibat tekanan tanah

1 Dua kasus berbeda harus dipertimbangkan dalam merancang struktur secara keseluruhan terhadap efek tekanan tanah lateral:

1. **Kasus 1** — Gedung yang terletak di tanah datar atau hampir datar tidak memerlukan analisis lateral dari keseluruhan struktur akibat tekanan tanah, karena reaksi lateral akibat tekanan tanah pada dinding ruang bawah tanah di sisi yang berlawanan hampir sama, saling mengimbangi satu sama lain, dan memberikan tekanan kompresi dalam/sejajar bidang yang hampir seragam pada slab lantai pertama. Dalam hal ini, tekanan tanah lateral harus diperhitungkan hanya ketika merancang elemen fondasi penahan tanah, seperti yang disebutkan dalam Bab 14, dan elemen yang mbingkainya.

2. **Kasus 2** — Gedung yang terletak di tanah miring menahan beban lateral yang tidak terkompensasi, dengan reaksi lateral akibat tekanan tanah pada dinding ruang bawah tanah di sisi yang berlawanan berbeda. Dalam hal ini, geser dasar lateral V_0 harus ditentukan berdasarkan 4.13.3 untuk kedua arah utama pada denah dari reaksi lantai pertama. Momen overturning M_{ot} akibat tekanan lateral tanah di kedua arah utama denah harus ditentukan berdasarkan 4.13.4. Lokasi pada denah dari resultan beban lateral tanah pada lantai pertama harus dihitung dan momen puntir pada struktur, T_i , pada sumbu vertikal harus dievaluasi berdasarkan 4.13.5. Terjadinya beban angin atau beban seismik bersamaan dengan gaya lateral permanen tekanan tanah ini harus dievaluasi menggunakan kombinasi beban yang ditentukan untuk kasus ini berdasarkan 4.2.5.

4.13.2.4 Tekanan fluida — Struktur pembantu yang mengalami tekanan fluida, seperti tangki air, harus dapat menahan beban secara independen dan tekanan fluida harus diperhitungkan dalam struktur pembantu. Struktur bangunan gedung utama sebaiknya tidak digunakan untuk menahan beban lateral yang berasal dari cairan yang terkandung didalamnya. Bobot dari tangki pembantu dan cairan yang terkandung harus dipertimbangkan dalam perhitungan berat beban pada level atap.

4.13.3 Gaya geser tingkat terfaktor dan gaya geser dasar — Gaya geser dasar akibat angin, gaya seismik, dan tekanan tanah lateral harus ditentukan secara independen untuk dua arah utama pada denah. Gaya geser tingkat pada level x untuk setiap gaya lateral (angin, seismik, dan tanah) sesuai dengan jumlah beban lateral yang dikenakan pada struktur dalam arah tinjauan utama, dari lantai x hingga atap, sebagaimana ditentukan berdasarkan Persamaan (4.13.3) (Gambar 4.13.3).

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (4.13.3)$$

1 **Gambar 4.13.3 – Perhitungan gaya geser tingkat dan gaya geser dasar**

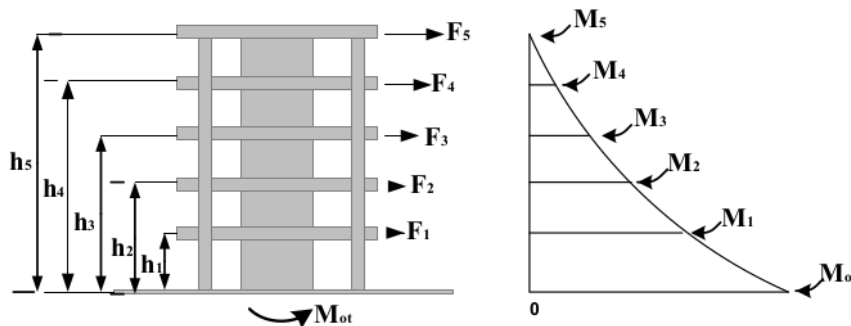
Gaya geser tingkat terfaktor V_{xu} dan gaya geser dasar terfaktor V_{ou} harus ditentukan dengan mengalikan V_x dan V_0 dengan faktor pembebanan yang bersesuaian berdasarkan 4.2.

4.13.4 Momen overturning terfaktor — Momen overturning akibat angin, gaya gempa, dan tekanan tanah lateral harus ditentukan secara independen untuk dua arah utama pada denah. Momen overturning tingkat pada level x untuk setiap gaya lateral (angin, seismik, dan tanah) sesuai dengan jumlah momen akibat beban lateral pada tingkat tersebut dari level x ke atap, sebagaimana yang ditentukan oleh Persamaan (4.13.4a) (Gambar 4.13.4).

$$M_x = \sum_{i=x}^n [F_i(h_i-h_x)] \quad (4.13.4a)$$

Momen overturning dasar M_{ot} untuk setiap gaya lateral (angin, seismik, dan tanah) sesuai dengan total beban lateral tingkat lantai dengan ketinggian ke tingkat lantai yang diukur dari dasar struktur (Gambar 4.13.4) sebagaimana didefinisikan oleh Persamaan (4.13.4b).

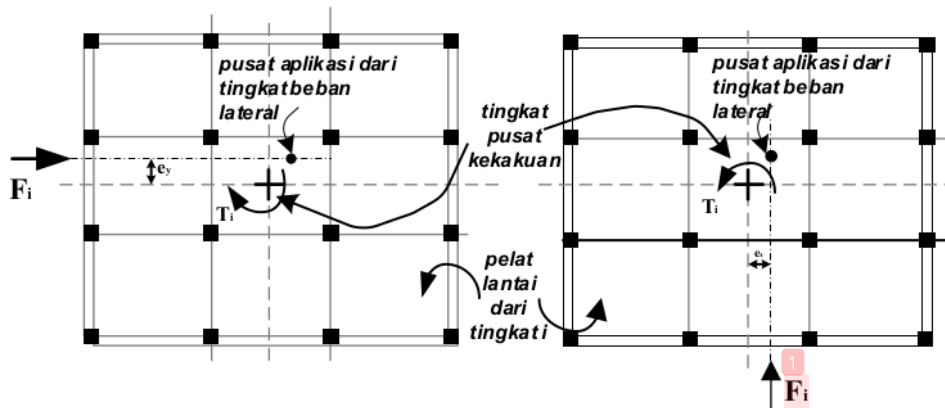
$$M_{ot} = \sum_{i=1}^n [F_i h_i] \quad (4.13.4b)$$



Gambar 14.3.4 – Perhitungan momen overturning

Momen *overturning* terfaktor tingkat M_{xu} dan momen overturning terfaktor dasar M_{otu} harus ditentukan dengan mengalikan M_x dan M_{ot} dengan faktor beban yang bersesuaian berdasarkan 4.2.

4.13.5 Momen Torsi — Untuk setiap tingkat dan dalam setiap arah utama, T torsi tidak terfaktor harus dihitung sebagai hasil dari gaya lateral tingkat dikali eksentrisitas yaitu sama dengan jarak transversal antara garis aksi gaya lateral dengan pusat kekakuan lateral tingkat (Gambar 4.13.5). Pusat kekakuan tingkat harus ditentukan berdasarkan 4.14.5. Untuk beban angin dan seismik, T_i harus diambil dari nilai terbesar yang ditentukan pada kedua arah utama. Untuk tekanan tanah lateral, T_i harus diambil sebagai penjumlahan aljabar dari nilai yang ditentukan pada kedua arah utama.



Gambar 4.13.5 – Torsi tingkat

Total torsi tingkat tidak terfaktor pada level x untuk setiap gaya lateral (angin, seismik, dan tanah) sesuai dengan jumlah dari torsi tingkat tidak terfaktor yang dikenakan pada struktur dari lantai x ke atap, sebagaimana ditentukan oleh Persamaan (4.13.5).

$$T_x = \sum_{i=x}^n T_i \quad (4.13.5)$$

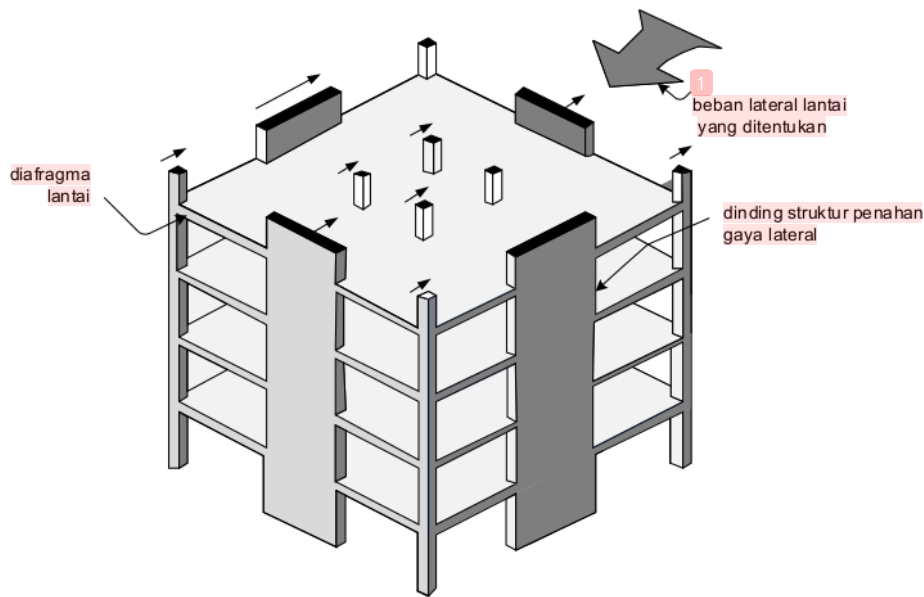
Total torsi dasar tidak terfaktor T_o , untuk setiap gaya lateral (angin, seismik, dan tanah) sesuai dengan jumlah torsi tingkat tidak terfaktor yang dikenakan pada struktur.

Momen torsi tingkat terfaktor T_{iu} dan momen torsi dasar terfaktor T_{ou} harus dihitung dengan mengalikan T_i dan T_o dengan faktor beban yang sesuai berdasarkan 4.2.

4.14 – Sistem Pemikul Gaya Lateral

4.14.1 Umum — Sistem pemikul gaya lateral terdiri dari elemen-elemen struktural yang bekerja bersama yang menahan dan mentransmisikan beban lateral yang dihasilkan dari gerakan seismik, angin, dan tekanan tanah lateral ke tanah (Gambar 4.14.1).

Sistem slab lantai harus bertindak sebagai diafragma yang membawa gaya lateral pada bidangnya dari titik kerjanya ke elemen-elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral. Elemen vertikal dari sistem pemikul gaya lateral, lalu, mengumpulkan beban-beban dari seluruh lantai yang terkena dampak dan meneruskannya ke fondasi dan ke tanah di bawahnya. Elemen vertikal utama dari sistem pemikul gaya lateral harus merupakan sejumlah dinding beton bertulang yang dipasang di kedua arah utama pada denah. Dinding beton bertulang ini seharusnya tidak memiliki bukaan untuk jendela ataupun pintu.



Gambar 4.14.14.14 – Sistem struktur pemikul gaya lateral

4.14.2 Pembatasan sistem struktur untuk ketahanan seismik

4.14.2.1 Umum — Pembatasan berikut berlaku untuk sistem struktur yang digunakan untuk zona risiko seismik sebagaimana didefinisikan dalam 4.11.2.3.

4.14.2.2 Zona risiko seismik rendah dan tanpa risiko — Tidak ada batasan sistem struktur yang dapat digunakan di zona dengan risiko seismik rendah ataupun zona tanpa risiko seismik, sebagaimana didefinisikan dalam 4.11.2.3. Di zona-zona ini, dinding struktural untuk ketahanan terhadap beban gempa mungkin tidak diperlukan, tetapi kebutuhannya untuk menahan angin dan beban lateral tekanan tanah harus diperhitungkan.

4.14.2.3 Zona risiko seismik sedang atau tinggi — Ketahanan lateral harus disediakan oleh dinding beton bertulang, kontinu dari fondasi ke atap, di kedua arah utama denah. Pendetailan penulangan khusus berdasarkan Bab 11 harus digunakan.

4.14.3 Efek diafragma

4.14.3.1 Umum — Untuk mendapatkan tahanan gaya lateral yang cukup, struktur bangunan gedung harus bertindak sebagai satu kesatuan melalui efek diafragma dari slab lantai. Beban lateral harus dipindahkan dari titik kerjanya ke elemen struktural yang menahan gaya lateral (dinding struktural dan rangka pemikul momen) sebagai beban dalam bidang (*in plane*) pada diafragma.

4.14.3.2 Diafragma — Diafragma harus memenuhi (a) hingga (e):

a) Bentuk pada denah untuk diafragma slab lantai harus seteratur dan sesimetris mungkin. Bentuknya diharapkan harus persegi ataupun persegi panjang. Diafragma persegi panjang harus memiliki rasio sisi pendek sisi panjang maksimum 4.

b) Elemen struktural slab lantai harus memenuhi tebal minimum berdasarkan Bab 6.

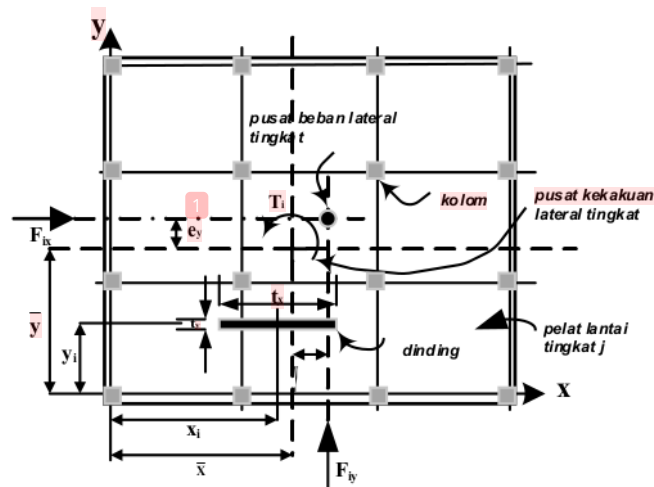
c) Tidak ada lubang di slab yang lebih dari 25 persen dari luas lantai, dan total seluruh lubang slab harus tidak melebihi 50 persen dari luas lantai.

d) Elemen kolektor diafragma harus disediakan, sebagaimana dijelaskan pada 4.15.5, dan mampu mentransfer beban lateral dari sistem slab lantai ke dinding struktural yang menahan gaya lateral.

e) Elemen diafragma dapat diletakkan miring tetapi harus mengikuti 1.3.9.

4.14.4 Pusat masa lantai — Pusat masa lantai harus sesuai dengan pusat masa area slab lantai. Luas untuk menghitung setiap pusat masa lantai harus dibatasi oleh batas slab, dikurangi luas dari seluruh bukaan yang panjang sisinya lebih dari 6 ft. (1,8 m). Beban seismik lateral harus dikenakan pada pusat masa lantai di setiap lantai.

4.14.5 Pusat kekakuan lateral tingkat — Pusat kekakuan lateral tingkat berhubungan dengan titik di mana diafragma lantai akan cenderung berputar terhadap sumbu vertikal ketika mengalami momen torsi tingkat. Lokasi pusat kekakuan lateral tingkat harus dihitung hanya dengan menggunakan kekakuan lateral dinding, dan mengabaikan kontribusi kekakuan kolom struktur. Jika lokasi dinding struktural simetris terhadap pusat masa setiap lantai dalam struktur pusat kekakuan lateral untuk seluruh lantai diasumsikan terletak di pusat masanya. Jika dinding struktural tidak simetris, prosedur (a) hingga (d) harus dilakukan untuk menghitung lokasi pusat kekakuan lateral tingkat (Gambar 4.14.5).



Gambar 4.14.5 – Perhitungan pusat kekakuan lateral lantai

- (a) Lokasi asal sembarang, diasumsikan pada titik 0.
 (b) Kekakuan lateral, k_x dan k_y dari dinding struktural harus dihitung menggunakan Persamaan. (4.14.5a (a)) dan Persamaan. (4.14.5a (b)) untuk kedua arah utama x dan y.

Untuk dinding struktural dengan panjang sejajar dengan sumbu x

$$k_x = \frac{\ell_w^3 b_w}{h_{pi}} \text{ dan } k_y = \frac{\ell_w b_w^3}{h_{pi}} \quad (4.14.5a(a))$$

atau, untuk dinding struktural dengan panjang sejajar dengan sumbu y

$$k_x = \frac{\ell_w b_w^3}{h_{pi}} \text{ dan } k_y = \frac{\ell_w^3 b_w}{h_{pi}} \quad (4.14.5a(b))$$

dengan b_w adalah lebar bagian web, atau lebar dinding; ℓ_w adalah panjang dinding horizontal; dan h_{pi} adalah tinggi tingkat;

- (c) Pusat kekakuan lateral tingkat koordinat \bar{x} dan \bar{y} , sehubungan dengan titik 0, seharusnya

$$\bar{x} = \frac{\sum(k_y x_i)}{\sum k_y} \text{ dan } \bar{y} = \frac{\sum(k_x y_i)}{\sum k_x} \quad (4.14.5b)$$

dengan x_i adalah jarak dari titik 0 ke pusat masa penampang dinding diukur dalam arah yang sejajar dengan x , dan y_i adalah jarak dari titik 0 ke pusat massa penampang dinding yang diukur dalam arah yang sejajar dengan y .

(d) Total kekakuan rotasi tingkat terhadap pusat kekakuan lateral tingkat harus dihitung dengan menggunakan Persamaan (4.14.5c).

$$k_r = \left[\sum (k_y x_i^2 + k_x y_i^2) \right] - \left[\bar{x}^2 \sum k_y \right] - \left[\bar{y}^2 \sum k_x \right] \quad (4.14.5c)$$

4.15 – Jumlah minimum dinding struktural beton bertulang

4.15.1 Umum — Harus tersedia sejumlah minimum dinding struktural beton bertulang untuk menahan gaya lateral. Dinding struktural ini harus memenuhi (a) sampai (g):

(a) Dinding struktural harus memiliki penampang persegi panjang. Potongan melintang dinding yang berbentuk selain persegi panjang berada di luar cakupan panduan ini, kecuali dinding inti seperti yang ditentukan dalam 12.8.

(b) Dinding struktural harus menerus secara vertikal dari fondasi ke atap, kecuali apabila dinding hanya diperlukan untuk menahan tekanan tanah lateral yang tidak seimbang di besmen. Dalam hal ini, dinding mungkin dihentikan pada lantai dasar.

(c) Dinding struktural harus lurus secara vertikal. Jika terjadi pengurangan penampang, penampang dinding di bawahnya harus lebih besar dari yang di atas dan pusat masa penampang dinding di atas harus di bagian tengah tinggi dibagi 3, di kedua arah, dari bawah.

(d) Dinding struktural tidak boleh memiliki bukaan untuk jendela ataupun pintu.

(e) Dalam kedua arah utama denah, harus ada setidaknya dua dinding paralel di bidang yang berbeda, dan bidang harus terpisah sejauh mungkin. Dinding harus ditempatkan sedekat mungkin dengan batas luar gedung.

(f) Dinding harus ditempatkan sesimetris mungkin dengan memperhatikan pusat masa dan pusat kekakuan setiap lantai.

(g) Dimensi dinding struktural harus sesuai dengan 4.15.2 dan 4.15.3.

4.15.2 Luas dinding minimum untuk kekuatan geser — Pada lantai i , untuk dua arah utama, x dan y , luas penampang minimum ($A_g = \ell_w b_w$) untuk seluruh dinding beton bertulang yang bekerja pada arah utama tinjauan harus ditentukan dari Persamaan (4.15.2).

$$\sum (\ell_w b_w) \geq \frac{V_{iu}}{2\sqrt{f'_c}} \quad (4.15.2)$$

$$\left[\sum (\ell_w b_w) \geq \frac{6V_{iu}}{\sqrt{f'_c}} \text{ (SI)} \right]$$

Dalam Persamaan (4.15.2), hanya dinding dengan panjang dinding horizontal, ℓ_w , sejajar dengan arah tinjauan harus diperhitungkan; b_w sesuai dengan tebal dinding, dan V_{iu} harus ditentukan dari 4.13.3. Berdasarkan 4.15.1 (e), setiap arah utama harus memiliki setidaknya dua dinding.

4.15.3 Dimensi dinding minimum untuk kekakuan lateral — Rasio kelangsingan h_w/ℓ_w untuk setiap dinding harus sesuai dengan Persamaan (4.15.3), dan tebal dinding harus sesuai dengan Bab 12.

$$\left(\frac{h_w}{\ell_w} \right) \leq \frac{3+n_s}{2} \quad (4.15.3)$$

h_w adalah tinggi dinding dari fondasi ke atap, dan ℓ_w adalah panjang dinding horizontal.

1 Pada Persamaan (4.15.3) n_s merupakan dengan jumlah total tingkat gedung di atas dasar.

4.15.4 Kekuatan lateral pada elemen struktural vertikal

4.15.4.1 Dinding Struktural — Pada setiap tingkat i , gaya geser lateral yang diperhitungkan V_u , yang harus ditahan oleh satu dinding ditentukan berdasarkan Persamaan (4.15.4.1a). Penjumlahan dalam Persamaan (4.15.4.1a) harus dilakukan untuk seluruh dinding dengan ℓ_w sejajar dengan V_{iu} .

$$V_u = V_{iu} \frac{b_w \ell_w^3}{\sum (b_w \ell_w^3)} + \Delta V_{ut} \quad (4.15.4.1a)$$

dengan V_{iu} adalah geser tingkat terfaktor (4.13.3) dalam arah paralel terhadap ℓ_w ; h_w dan ℓ_w adalah dimensi penampang dinding; dan ΔV_{ut} adalah peningkatan geser akibat torsi, ditentukan dari Persamaan (4.15.4.1b). ΔV_{ut} dari Persamaan (4.15.4.1b), sejajar dengan ℓ_w , harus digunakan dalam Persamaan (4.15.4.1a).

$$\Delta V_{utx} = T_{iu} \frac{\bar{y} k_x}{k_r} \quad \text{dan} \quad \Delta V_{uty} = T_{iu} \frac{\bar{y} k_y}{k_r} \quad (4.15.4.1.b)$$

dengan T_{iu} ditentukan dari 4.13.5; \bar{x} dan \bar{y} ditentukan dari Persamaan (4.14.5b); k_x dan k_y ditentukan dari Persamaan (4.14.5a); dan k_r ditentukan dari Persamaan (4.14.5c).

4.15.4.2 Rangka — Prosedur berikut ini harus digunakan untuk menetapkan gaya geser tingkat terfaktor ke rangka struktur melalui kolom.

(a) Pada zona berisiko seismik rendah dan tanpa risiko seismik, di mana dinding beton bertulang tidak wajib (4.14.2), gaya geser total lateral tingkat pada setiap tingkat harus didistribusikan ke rangka melalui kolom.

(b) Pada zona risiko seismik sedang atau tinggi, 100 persen dari beban lateral terfaktor harus ditahan oleh dinding beton bertulang. Rangka harus proporsional untuk menahan gaya lateral minimum sama dengan 25 persen dari gaya lateral yang terfaktor dalam setiap arah pada denah untuk memperhitungkan efek seperti rotasi dasar dinding atau penurunan kekakuan dan kekuatan karena respons inelastik.

(c) Fraksi geser tingkat, V_{iu} , seperti yang dijelaskan pada (a) atau (b), dibawa oleh kolom individu dalam satu arah pada denah untuk setiap tingkat i , harus ditentukan dari Persamaan (4.15.4.2a) untuk kolom interior, dan dari Persamaan (4.15.4.2b) untuk kolom tepi. Kolom interior adalah kolom yang ujung-ujungnya miring ke dua girder sejajar dengan arah tinjauan, sedangkan kolom tepi miring ke satu girder pada satu sisi saja.

$$V_u = \frac{2V_{iu}}{n_e + 2n_c} \quad (4.15.4.2a)$$

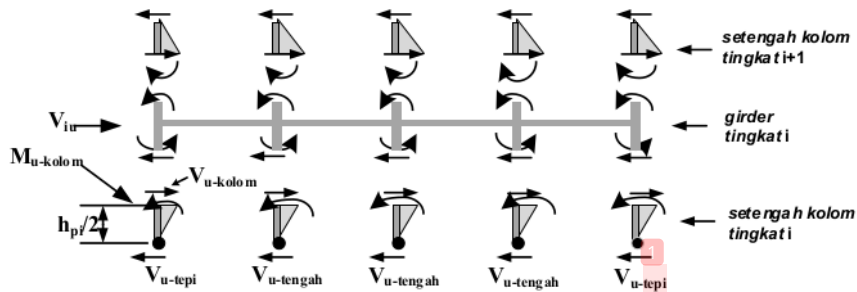
$$V_u = \frac{V_{iu}}{n_e + 2n_c} \quad (4.15.4.2b)$$

Pada Persamaan (4.15.4.2a) dan Persamaan (4.15.4.2b), n_e dan n_c adalah jumlah total kolom tepi dan kolom pusat, dalam tingkat i pada arah tinjauan.

(d) Momen kolom terfaktor karena beban lateral (Gambar 4.15.4.2a) harus ditentukan berdasarkan Persamaan (4.15.4.2c).

$$M_u = V_u \frac{h_{pi}}{2} \quad (4.15.4.2c)$$

h_{pi} merupakan tinggi lantai tingkat i , dan V_u adalah nilai yang ditentukan berdasarkan (c).



Gambar 4.15.4.2a – Gaya geser dan momen lateral kolom pada rangka

(e) Untuk sistem slab-kolom, momen balok atau slab akibat beban lateral harus diambil sama dengan momen kolom terfaktor untuk sambungan kolom interior dan dua kali momen kolom terfaktor untuk sambungan kolom tepi. Hal ini menghasilkan momen pada seluruh girder di muka sambungan kolom-girder. Momen ini berlaku pada arah positif maupun negatif dalam arah tinjauan, dan harus diambil sebagai kenaikan atau penurunan momen-momen terfaktor beban gravitasi (Gambar 4.15.4.2b).



Gambar 4.15.4.2b – Momen gaya lateral girder pada rangka

4.15.5 Elemen kolektor — Elemen kolektor di dalam diafragma, biasanya terdiri dari balok atau girder, mentransfer beban lateral dalam tingkat dari titik kerjanya ke elemen struktural yang menahan gaya lateral. Tulangan longitudinal elemen kolektor harus dikekang oleh sengkang tertutup yang memenuhi syarat batas untuk tulangan pengikat kolom berdasarkan 10.4.3.2. Gaya P_u yang akan ditransfer oleh elemen kolektor yang terhubung ke dinding harus merupakan selisih geser antara dinding di atas dan di bawah elemen kolektor. Perbedaan gaya geser dinding diperoleh dari Persamaan (4.15.4.1a).

Luas tulangan longitudinal pada elemen kolektor, A_{sf} harus sama atau lebih besar dari luas yang ditunjukkan oleh Persamaan (5.12.3.1) dan Persamaan (5.12.5). Untuk penerapan Persamaan (5.12.3.1), A_g harus merupakan luas penampang bruto elemen kolektor.

BAB 5 – INFORMASI UMUM STRUKTUR BETON BERTULANG

5.1 – Lingkup

Bab 5 berisi informasi umum untuk komponen-komponen struktur beton bertulang, termasuk material yang diizinkan, tebal selimut beton, dan prosedur untuk menentukan kekuatan desain dari komponen yang mengalami lentur, beban aksial dengan atau tanpa lentur, dan geser. Informasi tambahan untuk masing-masing komponen struktur dibahas di dalam Bab 6 sampai 16.

5.2 – Material beton bertulang

5.2.1 Standar material — Semua material yang digunakan dalam konstruksi struktur yang dirancang mengikuti panduan ini harus sesuai dengan standar ASTM yang tercantum dalam Bab 17.

5.2.2 Semen — Semen harus sesuai dengan ASTM C150/C150M atau ASTM C595/C595M, namun tidak termasuk Tipe S dan SA. ASTM C595/C595M Tipe S dan SA tidak dimaksudkan sebagai bahan semen utama beton struktural.

5.2.3 Agregat kasar — Agregat kasar harus sesuai dengan ASTM C33/C33M. Beton dengan agregat ringan tidak termasuk dalam ruang lingkup panduan ini.

5.2.4 Air — Air harus sesuai dengan ASTM C1602/C1602M.

5.2.5 Tulangan Baja — Tulangan baja harus berupa tulangan baja sirip, dengan pengecualian yang tercantum dalam 5.2.5.3, sesuai dengan 5.2.5.1 hingga 5.2.5.3, dan mematuhi standar ASTM yang sesuai. Tulangan baja kawat dilas harus dianggap sebagai tulangan baja sirip.

5.2.5.1 Tulangan baja sirip — Tegangan leleh terspesifikasi maksimum untuk tulangan baja sirip adalah 60.000 psi (420 MPa). Tulangan baja sirip harus memenuhi ASTM A615/A615M atau ASTM A706/A706M.

ASTM A615/A615M meliputi baja kelas BjTS 280, BjTS 420, dan BjTS 520, dengan tegangan leleh masing-masing adalah 40.000, 60.000, dan 75.000 psi (280, 420, dan 520 MPa), di mana ASTM A706/A706M mencakup BjTS 420 dan BjTS 520 dengan tegangan leleh masing-masing adalah 60.000 dan 75.000 psi (420 and 520 MPa). Dalam panduan ini, hanya tulangan baja sirip dengan tegangan leleh 40.000 dan 60.000 psi (280 and 420 MPa) yang diizinkan.

Kedua standar tersebut mencakup diameter nominal tulangan baja yang ditunjukkan dalam Tabel 5.2.5.1. Dalam panduan ini, diameter nominal maksimum untuk tulangan baja sirip adalah S25 (1 in. [25 mm]) (merujuk pada 5.3). Standar ASTM A615/A615M dan A706A/A706M tidak memasukan tulangan baja S6 dengan diameter 1/4 in. atau 6 mm.

5.2.5.2 Tulangan baja kawat dilas — Tegangan leleh terspesifikasi maksimum untuk tulangan baja kawat dilas haruslah 70.000 psi (500 MPa). Tulangan baja kawat dilas harus memenuhi ASTM A1064/A1064M. Dalam panduan ini, diameter nominal maksimum untuk tulangan baja kawat dilas adalah 3/8 in. (10 mm) (merujuk pada 5.3).

1
Tabel 5.2.5.1 – Ukuran batang tulangan baja sirip

Penamaan tulangan*	Nominal		
	Diameter, mm	Luas penampang, mm ²	Berat nominal per meter, kg/m
S6	6	28	0,222
S8	8	50	0,395
S10	10	79	0,617
S13	13	133	1,042
S16	16	201	1,578
S19	19	284	2,226
S22	22	380	2,984
S25 [†]	25	491	3,853

*Simbol dan angka pada penamaan tulangan mengindikasikan jenis tulangan adalah tulangan sirip/ulir dan diameter tulangan dalam satuan mm seperti yang ditunjukkan di dalam SNI 2052.

[†]Diameter tulangan sirip/ulir maksimum yang diijinkan di dalam panduan ini adalah S25 (1 in. [25 mm]).

5.2.6 Admikstur — Admikstur harus sesuai dengan standar ASTM yang terdapat pada Tabel 5.2.6. Admikstur dapat digunakan jika disetujui oleh perancang struktur profesional berlisensi. Kalsium klorida atau campuran yang mengandung klorida tidak boleh digunakan dalam beton yang memiliki baja tulangan prategang, atau di dalam beton yang kontak dengan baja tulangan yang dilapisi bahan seng (dikalvanis).

Penggunaan campuran dalam beton yang mengandung semen ekspansif, sebagaimana ditentukan oleh ASTM C845/C845M, harus digunakan dengan hati-hati. Campuran harus terbukti kompatibel dengan semen tanpa menghasilkan efek berbahaya.

Tabel 5.2.6 – Standar rujukan untuk bahan campuran tambahan (*admixture*)

Tujuan	Standar
Pengurangan air dan memodifikasi waktu pengikatan	ASTM C494/C494M
Menghasilkan beton segar yang dapat mengalir	ASTM C1017/C1017M
Beton dengan gelembung udara	ASTM C260/C260M

5.2.7 Penyimpanan material — Material semen dan agregat harus disimpan sedemikian rupa untuk mencegah kontaminasi, kerusakan, dan intrusi material lain yang mengganggu. Setiap material yang telah terganggu atau terkontaminasi tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton.

5.3 – Diameter batang tulangan minimum dan maksimum

Batang tulangan yang digunakan untuk struktur yang dirancang menggunakan panduan ini harus memiliki diameter nominal d_b tidak kurang dari diameter minimum, atau lebih besar dari diameter maksimum yang diberikan di dalam Tabel 5.3.

1 Tabel 5.3 – Diameter minimum dan maksimum untuk batang tulangan yang digunakan di dalam struktur beton bertulang

Jenis baja tulangan (bab rujukan)	Diameter minimum, d_b	Diameter maksimum, d_b
Batang tulangan sirip (5.2.2.1)	3/8 in. (10 mm)	1 in. (25 mm)
Kawat untuk batang tulangan kawat dilas (5.2.5.2)	0,16 in. (4 mm)	3/8 in. (10 mm)
Untuk sengkang dan kait (5.2.5.1)	3/8 in. (10 mm)	5/8 in. (16 mm)

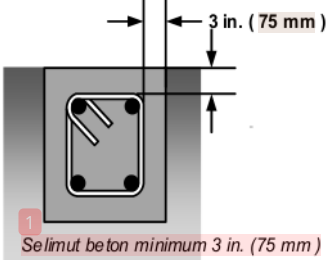
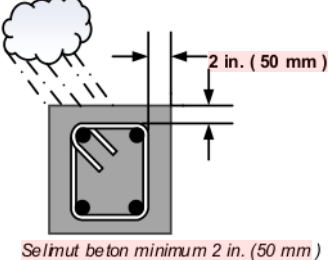
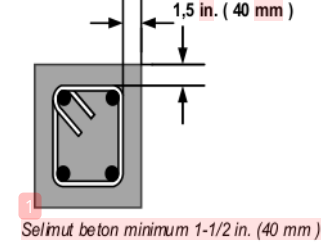
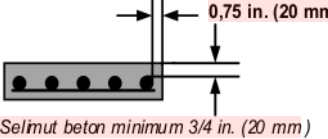
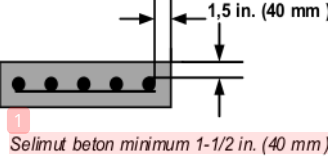
5.4 – Tebal selimut beton

5.4.1 Selimut beton minimum — Selimut beton yang disyaratkan untuk tulangan harus tidak kurang dari persyaratan yang terdapat di dalam Tabel 5.4.1.

5.4.2 Perlindungan struktur terhadap api — Ketika tingkat ketahanan api ditentukan dalam jam, untuk struktur gedung adalah lebih dari 1 jam, selimut beton di dalam 5.4.1 harus ditingkatkan sebesar 1/4 in. (6 mm) untuk setiap penambahan 1 jam dari tingkat ketahanan api.

5.4.3 Perlindungan korosi tambahan — Pada lingkungan yang sangat agresif, seperti adanya kontak langsung dengan air laut, struktur yang digunakan sebagai fasilitas yang berhubungan dengan bahan kimia, atau fasilitas yang menampung air limbah, perlindungan korosi tambahan dari tulangan harus ditentukan, seperti pengurangan rasio air terhadap bahan sementisius (w/cm), tulangan terlapisi epoksi, beton terisi udara, dan sarana lainnya. Jenis perlindungan ini di luar cakupan panduan ini, SNI 1726, SNI 1727, dan SNI 2847 harus digunakan untuk desain dalam kasus tersebut.

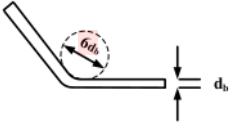
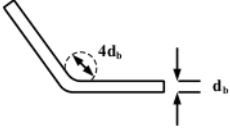
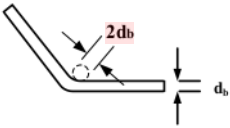
1
Tabel 5.4.1 – Tebal minimum selimut beton terhadap tulangan

<p>7 Komponen yang dicor di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah</p>	 <p>Selimut beton minimum 3 in. (75 mm)</p>
<p>Komponen yang terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah</p>	 <p>Selimut beton minimum 2 in. (50 mm)</p>
<p>Girder, balok, dan kolom yang tidak terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah</p>	 <p>Selimut beton minimum 1-1/2 in. (40 mm)</p>
<p>Slab solid, dinding beton bertulang, atau joist yang tidak terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah</p>	 <p>Selimut beton minimum 3/4 in. (20 mm)</p>
<p>Slab solid di atas tanah</p>	 <p>Selimut beton minimum 1-1/2 in. (40 mm)</p>

5.5 – Pembengkokan tulangan

Diameter bengkokan, diukur pada bagian dalam batang tulangan, tidak boleh kurang dari nilai yang ditunjukkan pada Tabel 5.5.

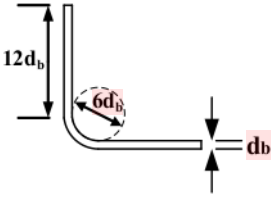
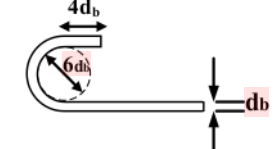
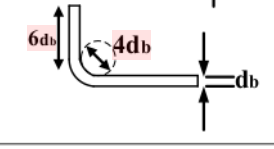
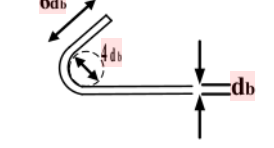
1 Tabel 5.5 – Diameter bengkokan minimum

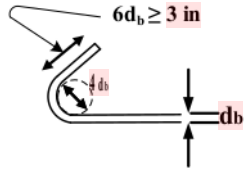
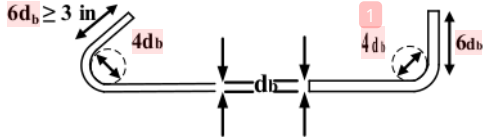
Tipe batang tulangan	Diameter bengkokan	
Batang tulangan sirip	$6d_b$	
Batang tulangan untuk sengkang dan kait pengikat	$4d_b$	
Kawat untuk batang tulangan kawat dilas dengan $d_b > 1/4$ in. (6 mm)	$4d_b$	
1 Kawat untuk batang tulangan kawat dilas dengan $d_b \leq 1/4$ in. (6 mm)	$2d_b$	

5.6 – Dimensi kait standar

Definisi "kait standar" mengacu pada salah satu tipe kait standar yang terdapat dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 – Deskripsi dan dimensi kait standar

Penunjukan kait	Deskripsi dan dimensi	
Kait 90°	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum $12d_b$ pada ujung bebas kait	
Kait 180°	Pembengkokan 180° ditambah perpanjangan minimum $4d_b$ pada ujung bebas kait	
Untuk sengkang dan kait pengikat	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum $6d_b$ pada ujung bebas kait	
	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum $6d_b$ pada ujung bebas kait	

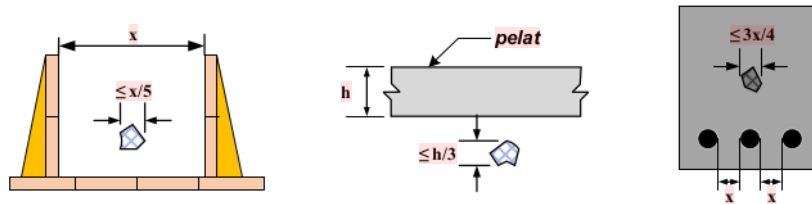
Penunjukan kait	Deskripsi dan dimensi	
Sengkang tertutup (Sengkang pengekang dan kait pengikat) untuk struktur di daerah seismik	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum $6d_b$ pada ujung bebas kait, tetapi tidak kurang dari 3 in. (75 mm)	
Untuk kait pengikat di daerah seismik	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum $6d_b$ pada salah satu ujung bebas kait, tetapi tidak kurang dari 3 in. (75 mm)	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum $6d_b$ pada ujung bebas kait lainnya
		

5.7 – Ukuran maksimum agregat kasar

Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi ketentuan yang terdapat pada (a), (b), atau (c) (Gambar 5.7).

- h) 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan
- i) 1/3 tebal pelat lantai
- j) 3/4 jarak bersih minimum antara batang-batang tulangan paralel

Ukuran nominal maksimum 3/4 in. (19 mm) direkomendasikan untuk kolom, girder, balok, dan joist. Kecuali untuk struktur pelat, ukuran yang lebih besar dapat digunakan jika memenuhi batas yang diberikan di dalam ketentuan (a) sampai (c).



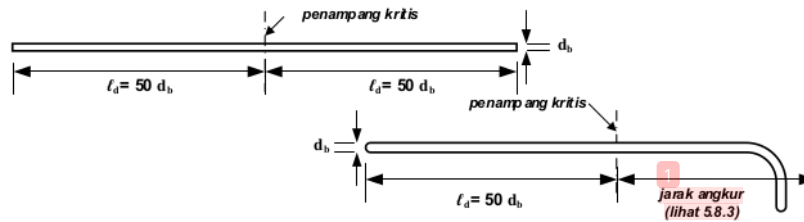
Gambar 5.7 – Ukuran maksimum nominal agregat kasar.

5.8 – Panjang penyaluran, splais lewatan, dan pengangkuran tulangan

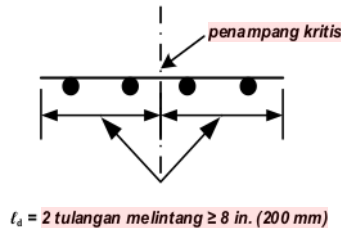
5.8.1 Panjang penyaluran

5.8.1.1 Batang tulangan — Panjang penyaluran minimum batang tulangan, ℓ_d , di setiap sisi penampang kritis agar tulangan dapat mengembangkan kekuatannya harus sebesar $50d_b$. Panjang penyaluran di satu sisi penampang kritis dapat diganti dengan kait standar yang sesuai dengan jarak minimum angkur dengan kait standar seperti terdapat dalam 5.8.3 (Gambar 5.8.1.1).

5.8.1.2 Batang tulangan kawat dilas — Panjang penyaluran minimum, ℓ_d , dari tulangan kawat dilas yang diukur pada setiap sisi penampang kritis hingga ujung tulangan harus mengandung 2 tulangan melintang, dan tidak boleh kurang dari 8 in. (200 mm) (Gambar 5.8.1.2).



Gambar 5.8.1.1 – Panjang penyaluran batang tulangan dan batang tulangan dengan kait standar.

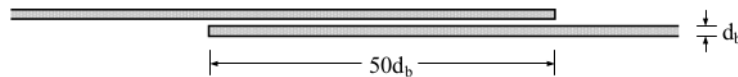


Gambar 5.8.1.2 – Panjang penyaluran tulangan kawat dilas.

5.8.2 Panjang splais lewatan

5.8.2.1 Batang tulangan — Panjang minimum splais lewatan untuk batang tulangan harus sebesar $50d_b$. Untuk struktur gedung yang berada dalam lingkup panduan ini, perhitungan panjang splais lewatan ini adalah sebuah penyederhanaan dari perhitungan yang dilakukan secara detail untuk panjang sambungan lewatan yang terdapat dalam SNI 2847 (Gambar 5.8.2.1). Diameter nominal maksimum batang tulangan yang diizinkan di dalam panduan ini adalah 1 in. (25 mm).

5.8.2.2 Batang tulangan kawat dilas — Panjang splais lewatan batang tulangan kawat dilas harus mengandung 2 tulangan melintang dari setiap lembar dan tidak kurang dari 10 in. (250 mm) (Gambar 5.8.2.2).

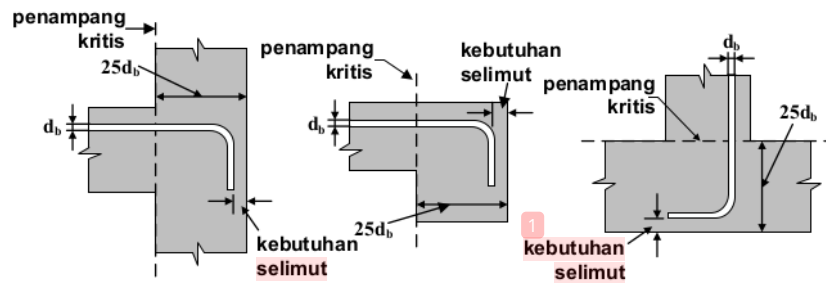


Gambar 5.8.2.1 – Splais lewatan minimum untuk batang tulangan.



Gambar 5.8.2.2 – Splais lewatan minimum untuk tulangan kawat dilas.

5.8.3 Jarak minimum pengangkuran dengan kait standar — Bagian batang tulangan yang dibengkokkan harus diletakkan sedekat mungkin dengan sisi luar permukaan beton, sesuai selimut beton yang diizinkan. Jarak minimum antara sisi luar permukaan beton dengan penampang kritis agar batang tulangan dengan kait standar dapat mengembangkan kekuatannya adalah sebesar $25d_b$ (Gambar 5.8.3).



Gambar 5.8.3 – Jarak minimum angkur dengan kait standar.

5.9 – Tulangan longitudinal

Tulangan longitudinal di dalam komponen struktur beton bertulang harus disediakan untuk menahan gaya aksial tarik, aksial tekan, gaya aksial tarik dan tekan pada penampang akibat momen lentur, dan tegangan yang terjadi akibat variasi suhu dan susut pada beton.

Luas tulangan longitudinal yang tersedia pada komponen beton bertulang harus cukup untuk menahan beban terfaktor tetapi tidak kurang dari nilai luas tulangan minimum dan tidak lebih besar dari nilai luas tulangan maksimum.

Ketika luas tulangan longitudinal yang dihitung kurang dari nilai luas tulangan minimum, maka luas tulangan minimum harus digunakan. Jika luas tulangan longitudinal yang dihitung melebihi nilai maksimum, maka dimensi penampang komponen beton bertulang harus disesuaikan dengan tepat.

5.10 – Tulangan transversal

Tulangan transversal di dalam komponen beton bertulang berfungsi untuk menahan gaya geser dan torsi, mengekang tulangan longitudinal terhadap tekuk keluar sumbu komponen, dan untuk mencegah perpindahan posisi tulangan longitudinal selama masa konstruksi. Untuk daerah gempa, tulangan transversal memberikan kekangan pada beton di daerah khusus yang mengalami regangan besar. Luas tulangan geser yang tersedia pada komponen beton bertulang harus cukup untuk menahan beban terfaktor tetapi tidak kurang dari nilai luas minimum.

Ketika luas tulangan transversal yang dihitung kurang dari nilai luas tulangan transversal minimum, maka luas tulangan transversal minimum harus digunakan. Jika luas total penampang tulangan transversal yang dihitung melebihi batas maksimum, maka dimensi penampang komponen beton bertulang harus disesuaikan dengan tepat.

5.11 – Lentur

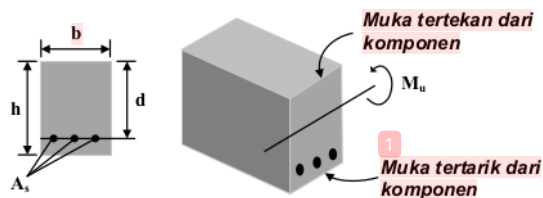
5.11.1 Umum — Kekuatan lentur desain harus dihitung berdasarkan ketentuan yang terdapat di dalam 5.11. Bilamana gaya aksial tekan terfaktor pada penampang komponen lentur melebihi $0,1f'_cA_g$ atau gaya aksial terfaktor adalah gaya tarik, kekuatan desain harus berdasarkan ketentuan 5.12.

5.11.2 Kekuatan lentur perlu — Momen lentur terfaktor M_u (kekuatan lentur perlu) akibat beban terfaktor yang bekerja, harus ditentukan untuk tipe komponen struktur yang terdapat di dalam Bab 7 sampai dengan Bab 14.

5.11.3 Kekuatan lentur desain — Kekuatan lentur desain penampang, ϕM_n , yang dihitung berdasarkan dimensi, kekuatan material, dan tulangan rencana, harus lebih besar atau sama dengan kekuatan lentur perlu M_u .

$$\phi M_n \geq M_u \quad (5.11.3)$$

Tulangan longitudinal harus ditempatkan sedekat mungkin dengan serat terjauh dari penampang komponen yang mengalami gaya tarik akibat lentur (Gambar 5.11.3).



Gambar 5.11.3 – Dimensi desain untuk kekuatan momen desain.

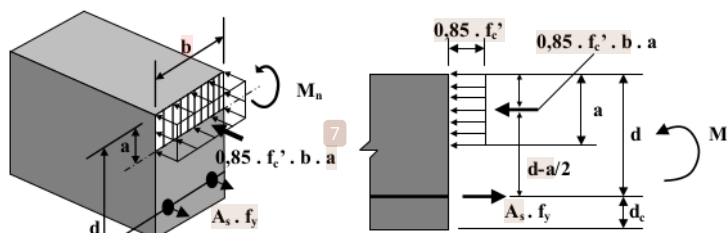
5.11.4 Kekuatan lentur desain penampang persegi dengan tulangan tarik saja

5.11.4.1 Kekuatan lentur desain — Berdasarkan asumsi bahwa tulangan tarik telah mencapai tegangan lelehnya, untuk penampang yang hanya memiliki tulangan tarik saja, kekuatan lentur desain harus ditentukan menggunakan Persamaan 5.11.4.1, dengan $\phi = 0,9$ (Gbr. 5.11.4.1).

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ and } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (5.11.4.1)$$

Untuk pelat, girder, balok, dan joist kekuatan lentur desain boleh dihitung dengan persamaan yang disederhanakan (5.11.4.2), dengan $\phi = 0,9$.

$$\phi M_n = \phi 0,85 A_s f_y d \quad (5.11.4.2)$$



Gambar 5.11.4.1 – Kekuatan momen lentur nominal.

5.11.4.2 Luas tulangan tarik — Rasio luas tulangan yang memikul gaya tarik akibat momen lentur, $\rho = A_s/(bd)$, harus ditentukan berdasarkan momen lentur terfaktor seperti berikut:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \alpha_f - \sqrt{\alpha_f^2 - \left(\frac{M_u}{\phi b d^2} \cdot \frac{2\alpha_f}{f_y} \right)} \quad (5.11.4.3)$$

di mana $\alpha_f = \frac{f'_c}{1,18f_y}$

Untuk pelat, girder, balok, dan joist, rasio luas penampang tulangan tarik akibat momen lentur dapat diestimasi berdasarkan:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \geq \frac{M_u}{\phi 0,85f_y b d^2} \quad (5.11.4.4)$$

Jika rasio tulangan tarik ρ yang dihitung kurang dari rasio tulangan minimum, ρ_{min} , sebagaimana yang ditetapkan dalam Bab 7 hingga Bab 14, maka A_s harus menggunakan nilai minimum. Ketika ρ yang dihitung lebih besar dari nilai maksimum, ρ_{max} , dimensi komponen dan momen akibat berat sendiri harus disesuaikan. Untuk girder, balok, dan joist, ketika ρ yang dihitung lebih besar dari ρ_{max} (Tabel 5.11.4.2), penggunaan tulangan tekan mungkin diperlukan.

Tabel 5.11.4.2 – Rasio tulangan lentur maksimum ρ_{max} untuk slab solid

		f_y psi (MPa)	
		40.000 (280)	60.000 (420)
f'_c , psi (MPa)	3.000 (21)	0,0190	0,0100
	3.500 (25)	0,0220	0,0125
	4.000 (28)	0,0250	0,0140
	4.500 (32)	0,0270	0,0160
	5.000 (36)	0,0290	0,0170

Catatan: Untuk nilai f_y dan f'_c yang berbeda, interpolasi linier dapat dilakukan

5.12 – Beban aksial dengan atau tanpa lentur

5.12.1 Umum — Perhitungan kekuatan desain untuk kolom dan dinding beton bertulang yang menerima beban aksial atau beban aksial disertai dengan lentur harus sesuai dengan 5.12.

5.12.2 Kombinasi beban aksial dan lentur — Beban aksial terfaktor P_u dan momen lentur terfaktor M_u , akibat beban terfaktor yang bekerja, harus ditentukan untuk tipe komponen seperti yang terdapat di dalam bab 7 sampai 14.

5.12.3 Kekuatan aksial tekan desain

5.12.3.1 Kekuatan aksial tekan desain tanpa lentur — Persamaan (5.12.3.1) harus digunakan untuk menentukan kekuatan tekan aksial desain tanpa lentur, ϕP_{on} .

$$\phi P_{on} = \phi [0,85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y] \quad (5.12.3.1)$$

Dengan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan sengkang ikat dan dinding beton bertulang, dan $\phi = 0,75$ untuk kolom dengan tulangan sengkang spiral.

5.12.3.2 Kekuatan tekan aksial desain maksimum — Kekuatan tekan aksial desain ϕP_n kolom dan dinding beton bertulang yang dibebani aksial tekan dengan ataupun tanpa lentur harus tidak melebihi ketentuan berikut:

(f) Kolom dengan sengkang ikat dan dinding beton bertulang

$$\phi P_{n(max)} \leq 0,80\phi P_{on} \quad (\text{with } \phi = 0,65) \quad (5.12.3.2a)$$

(g) Kolom dengan tulangan sengkang spiral

$$\phi P_{n(max)} \leq 0,85\phi P_{on} \quad (\text{with } \phi = 0,75) \quad (5.12.3.2b)$$

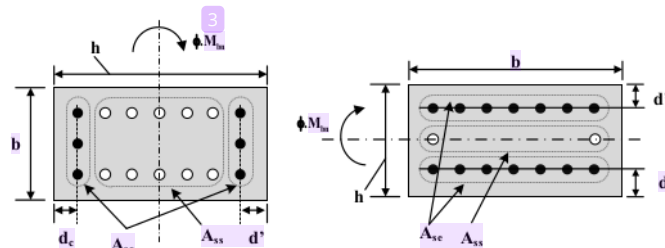
5.12.4 Kekuatan aksial tekan dengan lentur untuk kondisi seimbang

5.12.4.1 Kolom persegi dengan sengkang ikat dan dinding beton bertulang — Kekuatan tekan aksial desain ϕP_{bn} dan kuat lentur desain ϕM_{bn} untuk kondisi seimbang harus ditentukan menggunakan Persamaan (5.12.4.1a) dan Persamaan (5.12.4.1b), masing-masing dengan $\phi = 0,65$.

$$\phi P_{bn} = \phi 0,42f'_c h b \quad (5.12.4.1a)$$

$$\phi M_{bn} = \phi P_{bn} 0,32h + \phi [0,6A_{se} + 0,15A_{ss}] f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (5.11.4.2b)$$

Untuk Persamaan (5.12.4.1b), luas total tulangan longitudinal A_{st} harus dibagi menjadi tulangan pada serat terjauh yang terdapat di permukaan tarik dan tekan, A_{se} , dan tulangan yang terdapat pada sisi penampang, A_{ss} , sehingga $A_{se} + A_{ss} = A_{st}$ (Gambar 5.12.4.1).

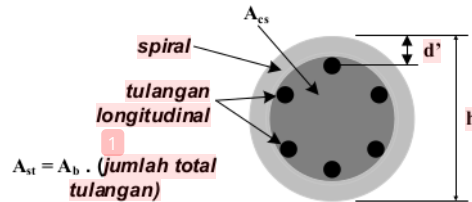


Gambar 5.12.4.1 – Properti penampang untuk perhitungan kuat rencana kondisi seimbang untuk kolom berpenampang persegi panjang dan dinding beton bertulang.

5.12.4.2 Kolom bundar dengan tulangan sengkang spiral — Kekuatan tekan aksial desain ϕP_{bn} dan kekuatan lentur desain ϕM_{bn} untuk kondisi seimbang harus ditentukan menggunakan Persamaan (5.12.4.2a) dan Persamaan (5.12.4.2b), masing-masing dengan $\phi = 0,75$.

$$\phi P_{bn} = \phi 0,5 f'_c h b \quad (5.12.4.2a)$$

$$\phi M_{bn} = \phi P_{bn} 0,2h + \phi 0,6 A_{st} f_y \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (5.12.4.2b)$$



Gambar. 5.12.4.2 – Properti penampang untuk perhitungan kuat rencana kondisi seimbang untuk kolom dengan tulangan spiral.

5.12.5 Kekuatan aksial tarik desain tanpa lentur — Kekuatan tarik aksial desain, ϕP_{tn} , tanpa lentur harus ditentukan menggunakan persamaan (5.12.5) dengan $\phi = 0,90$.

$$\phi P_{tn} = \phi A_{st} f_y \quad (5.12.5)$$

5.12.6 Kombinasi beban aksial dan lentur — Kekuatan lentur desain penampang, ϕM_n , pada level beban aksial terfaktor yang diperhitungkan, P_u , harus sama dengan atau lebih besar dari momen terfaktor maksimum M_u yang terjadi pada level beban aksial terfaktor tersebut, P_u , seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (5.12.6a).

$$\phi M_n \geq M_u \quad (5.12.6a)$$

Pemenuhan Persamaan (5.12.6a) harus dilakukan dengan pembuktian bahwa koordinat $M_u - P_u$ pada suatu kurva interaksi momen beban aksial yang terkait dengan ϕM_n dan ϕP_{bn} , harus berada di dalam kurva interaksi, yaitu bagian yang diarsir pada Gambar 5.12.6.

Kondisi-kondisi berikut harus terpenuhi untuk semua pasangan M_u dan P_u yang bekerja pada penampang kolom.

$$P_u \leq \phi P_{n(max)} \quad (5.12.6b)$$

$$P_u \geq -(\phi P_{tn}) \quad (5.12.6c)$$

Untuk nilai $P_u \geq \phi P_{bn}$

$$M_u \leq \phi M_n = \frac{\phi P_{on} - P_u}{\phi P_{on} - \phi P_{bn}} \phi M_{bn} \quad (5.12.6d)$$

Untuk nilai $P_u < \phi P_{bn}$

$$M_u \leq \phi M_n = \frac{P_u + \phi P_{tn}}{\phi P_{bn} + \phi P_{tn}} \phi M_{bn} \quad (5.12.6e)$$



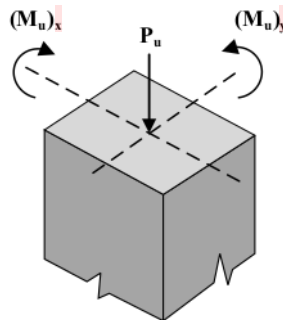
Gambar 5.12.8 – Diagram interaksi untuk $(\phi M_n, \phi P_n)$.

5.12.7 Penggunaan diagram interaksi — Diagram interaksi untuk kolom dari sumber yang dapat dipertanggungjawabkan dapat digunakan, namun faktor reduksi kekuatan ϕ yang digunakan harus sesuai dengan yang tercantum dalam panduan ini.

5.12.8 Kekuatan momen biaksial — Kolom sudut dan kolom lain yang mengalami momen pada setiap sumbu utamanya secara bersamaan (Gambar 5.12.8) harus memenuhi Persamaan (5.12.8).

$$\frac{(M_u)_x}{(\phi M_n)_x} + \frac{(M_u)_y}{(\phi M_n)_y} \leq 1,0 \tag{5.12.8}$$

Dimana $(M_u)_x$ dan $(M_u)_y$ adalah momen terfaktor terhadap sumbu x dan y (Gambar 5.12.8) yang terjadi secara bersamaan dengan beban aksial terfaktor P_u . $(\phi M_n)_x$ dan $(\phi M_n)_y$ sesuai dengan nilai kekuatan momen lentur rencana yang ditentukan dari persamaan (5.12.6d) atau Persamaan (5.12.6e) untuk beban aksial terfaktor P_u dan untuk arah yang sesuai, x atau y.



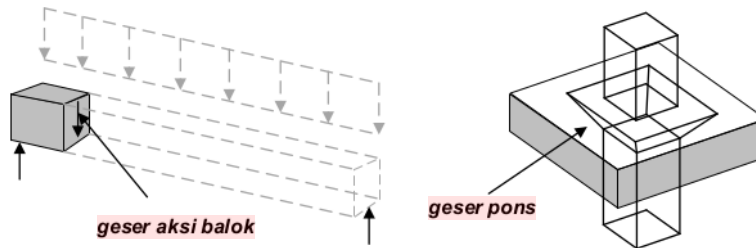
Gambar 5.12.8 – Kolom yang dibebani lentur biaksial.

5.13 – Geser

5.13.1 Umum — Perhitungan kekuatan geser desain untuk penampang yang dibebani geser harus sesuai dengan 5.13. Ada dua tipe gaya geser (Gambar 5.13.1):

- (a) Geser aksi-balok yang menyertai momen lentur dan terjadi pada girder, balok, joist, slab solid, dan dinding beton bertulang, di sekitar tumpuan dan beban terpusat; dan
- (b) Geser pons atau geser dua arah yang terjadi pada slab solid dan fondasi tapak, di daerah dekat tumpuan dan beban terpusat.

1 Jenis efek geser lainnya, seperti efek khusus pada balok tinggi yang dibebani lentur, geser friksi yang digunakan saat merencanakan brakit dan korbrel, dan metode *strut-and-ties*, berada di luar lingkup panduan ini, dan SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727 harus digunakan.



Gambar 5.13.1 – Geser pada penampang balok dan geser pons.

5.13.2 *Kekuatan geser perlu* — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser yang diperlukan) karena beban terfaktor harus ditentukan untuk tipe komponen struktur yang terdapat di dalam Bab 7 sampai dengan Bab 14.

5.13.3 *Kekuatan geser desain* — Kekuatan geser desain pada penampang, ϕV_n , harus sama dengan atau lebih besar dari kekuatan geser yang diperlukan V_u , seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (5.13.3).

$$\phi V_n \geq V_u \quad (5.13.3)$$

dengan $\phi = 0,75$.

5.13.4 *Kekuatan geser aksi-balok desain* — Ketentuan di dalam 5.13.4 harus dipenuhi ketika merancang komponen yang mengalami geser aksi-balok. Ketentuan di dalam 5.13.4.1, 5.13.4.2, dan 5.13.4.3 berlaku.

5.13.4.1 *Lokasi penampang kritis* — Apabila reaksi tumpuan, pada arah geser, menimbulkan tekan dalam daerah ujung komponen struktur, dan tidak ada beban terpusat di antara muka tumpuan dan jarak sejauh d dari permukaan tumpuan untuk girder, balok, joist, kolom, pelat, dan fondasi tapak, maka bagian penampang di antaranya dapat di desain untuk memikul gaya geser terfaktor V_u , yang dihitung pada jarak d dari tumpuan.

5.13.4.2 *Penampang tanpa tulangan geser* — Untuk penampang tanpa tulangan geser di dalam Bab 7 sampai dengan Bab 14, kekuatan geser desain pada penampang, ϕV_n , harus memenuhi Persamaan (5.13.4.2).

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (5.13.4.2)$$

Di dalam persamaan (5.13.4.2), $\phi = 0,75$, dan ϕV_c adalah kekuatan geser yang disediakan oleh beton.

5.13.4.3 *Penampang dengan tulangan geser* — Untuk penampang dengan tulangan geser di dalam Bab 7 sampai dengan Bab 14, kekuatan geser rencana pada penampang, ϕV_n , harus memenuhi Persamaan (5.13.4.3) dengan $\phi = 0,75$.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (5.13.4.3)$$

Di dalam Persamaan (5.13.4.3), ϕV_c adalah kuat geser yang disediakan oleh beton, ϕV_s adalah kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser.

5.13.5 *Desain geser dua arah untuk slab solid dan fondasi tapak*

5.13.5.1 Lokasi penampang kritis — Kekuatan geser desain untuk geser pons, atau geser dua arah, harus ditinjau di dalam struktur pelat di sekitar kolom, beban terpusat, daerah tumpuan, perubahan ketebalan seperti tepi perbesaran kolom dan penebalan panel, dan dimana kolom menyalurkan beban ke fondasi.

5.13.5.2 Kekuatan geser dua arah desain — Kekuatan geser desain ϕV_n harus dihitung menggunakan Persamaan (5.13.5.2)

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (5.13.5.2)$$

dengan $\phi = 0,75$.

Di dalam Persamaan (5.13.5.2), ϕV_c adalah kuat geser yang disediakan oleh beton. Tata cara desain untuk tulangan geser pelat dan fondasi tapak berada di luar lingkup panduan ini. SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727 harus digunakan untuk merencanakan kasus tersebut.

5.13.6 Torsi — Desain untuk torsi tidak termasuk dalam lingkup panduan ini, dan efek torsi harus diabaikan ketika kuat torsi yang diperlukan T_u lebih kecil dari atau sama dengan nilai yang dihitung menggunakan Persamaan (5.13.6).

$$T_u \leq \phi \left[\frac{\sqrt{f_c'}}{24} \right] \left[\frac{h^2 b^2}{h + b} \right] \quad (5.13.6)$$

dengan $\phi = 0,75$.

Untuk komponen dimana torsi lebih kecil dari nilai yang diberikan oleh Persamaan (5.13.6), tulangan sengkang tertutup dengan diameter minimum d_b adalah 3/8 in. (10 mm) harus disediakan di daerah tumpuan. Jarak tulangan sengkang tertutup tersebut, diukur sepanjang bentang komponen, harus tidak melebihi nilai terkecil dari $b/4$ atau $d/4$, untuk jarak sejauh 1/4 panjang bentang bersih komponen. Sekurang-kurangnya satu tulangan longitudinal dengan diameter 1/2 in. (13 mm) atau lebih besar harus disediakan pada setiap sudut dari sengkang tertutup tersebut.

5.14 – Kekuatan tumpu

Beban aksial tekan terfaktor P_u yang diaplikasikan secara konsentrik pada suatu area struktur beton A_{cb} , harus lebih kecil dari kekuatan tumpu desain beton ϕP_n yang ditentukan oleh Persamaan (5.14).

$$\phi P_n = \phi 0,85 f_c' A_{cb} \quad (5.14)$$

dengan $\phi = 0,65$.

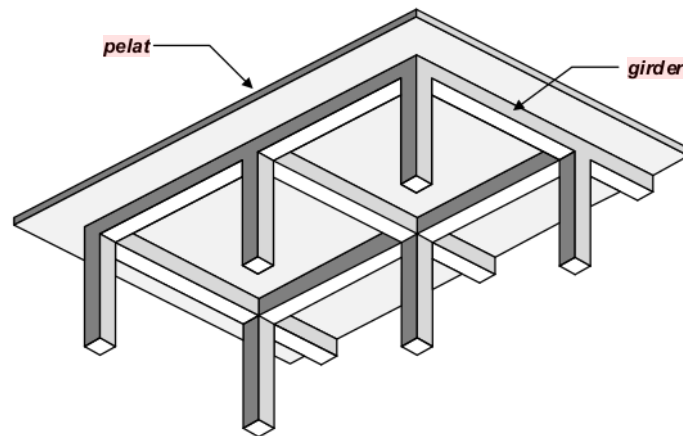
1 BAB 6 – SISTEM LANTAI

6.1 – Jenis sistem lantai

6.1.1 Umum — Sistem lantai yang digunakan oleh gedung yang didesain dalam panduan ini harus merupakan salah satu dari sistem yang dibahas dalam 6.1 atau variasi lainnya yang diizinkan. Pemilihan sistem lantai yang sesuai harus dilakukan setelah mempertimbangkan beberapa alternatif.

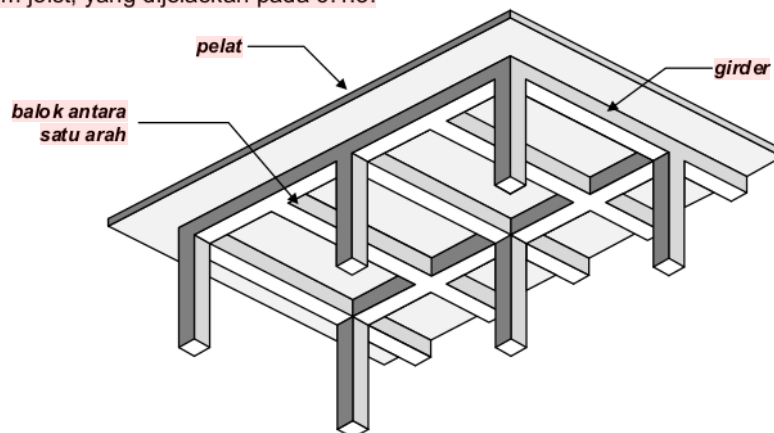
6.1.2 Sistem slab di atas girder

6.1.2.1 Deskripsi — Sistem ini terdiri dari kisi-kisi balok di kedua arah perancangan dengan slab solid di antara girder. Girder tersebut terletak di garis atau sumbu kolom, yang terbentang pada jarak antar kolom. Slab solid lebih tipis dari girder dan ditumpu girder (Gambar 6.1.2.1). Slab tersebut dapat menggantung keluar dari tepi girder. Sistem ini harus sesuai dengan integritas struktural 6.3.

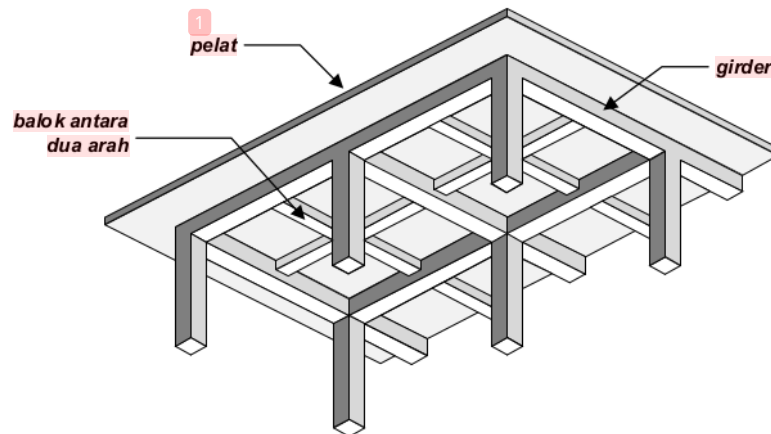


Gambar 6.1.2.1 – Sistem lantai slab di atas girder.

6.1.2.1.1 Penggunaan balok — Salah satu variasi sistem utama adalah penggunaan balok yang ditumpu oleh girder. Satu atau beberapa balok dapat dipasang pada tiap bentang girder. Balok mungkin memiliki tinggi yang sama dengan girder atau dapat lebih tipis. Balok ini dapat digunakan pada sistem satu arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.2.1.1a, atau pada sistem dua arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.2.1.1b. Penggunaan banyak balok akan membuat sistem menjadi sistem joist, yang dijelaskan pada 6.1.3.



Gambar 6.1.2.1.1a – Penggunaan balok antara satu arah pada sistem lantai slab di atas girder.



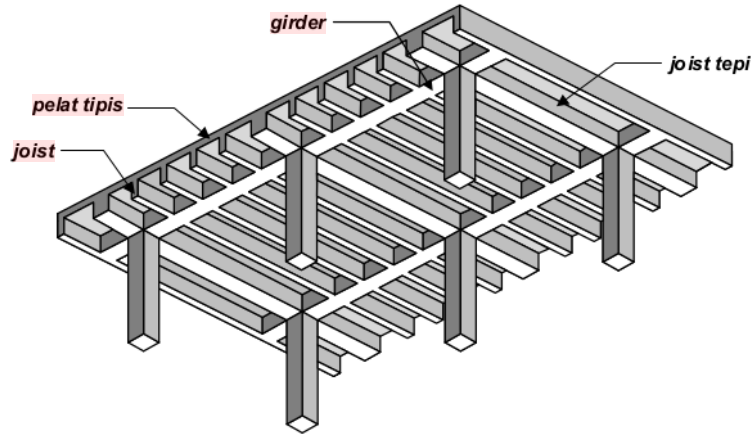
Gambar 6.1.2.1.1b – Penggunaan balok antara dua arah pada sistem lantai slab di atas girder.

6.1.2.1.2 Keuntungan sistem lantai slab di atas girder — Untuk sistem lantai slab di atas girder, setiap komponen memiliki tinggi dan lebar minimum yang tepat untuk memenuhi kekuatan desain ataupun kemudahan layan; oleh karena itu, sistem ini memiliki berat sendiri yang relatif rendah. Sistem ini dapat mengakomodasi bentang dari berbagai ukuran panjang dan dapat dengan mudah disesuaikan dengan bentuk denah apa pun, dan perforasi besar, saluran, dan lubang menerus (*shaft*) dapat diletakkan tanpa menimbulkan masalah besar.

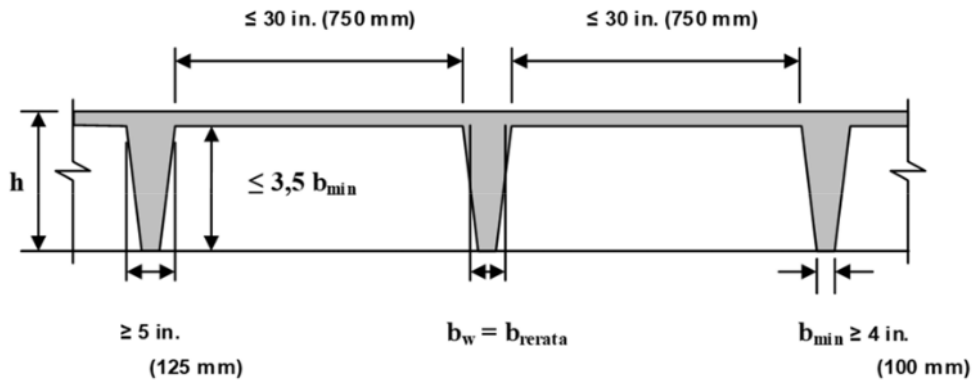
6.1.2.1.3 Kelemahan sistem lantai slab di atas girder — Untuk sistem lantai slab di atas girder, tinggi girder dan balok, dan tebal slab akan besar jika jumlah elemen yang digunakan minimum. Namun, apabila tinggi dikurangi akan menyebabkan lebih banyak jumlah elemen yang diperlukan dan cetakan menjadi lebih rumit. Langit-langit yang digantung mungkin diperlukan pada hunian apartemen dan kantor.

6.1.3 Sistem joist

6.1.3.1 Deskripsi dan batasan — Sistem joist terdiri dari beberapa joist paralel yang ditumpu oleh girder. Girder terletak di garis kolom dan membentang antar kolom. Joist biasanya memiliki tinggi yang sama dengan girder tetapi dapat juga lebih pendek. Slab solid membentang di antara joist (Gambar 6.1.3.1a). Sistem ini harus mengikuti integritas struktural 6.3. Slab atas tidak boleh menggantung keluar dari balok tepi. Jarak antara joist paralel, diukur dari bagian bawah slab, tidak boleh melebihi 30 in. (750 mm). Lebar sisi badan (web) joist tidak boleh kurang dari 5 in. (125 mm) diukur dari bagian bawah slab, dan tidak boleh lebih tipis dari 4 in. (100mm), diukur pada bagian tertipisnya. Tinggi bersih joist tidak boleh melebihi 3,5 kali lebar minimumnya (Gambar 6.1.3.1b). Slab atas harus sesuai dengan 6.5.2.1.



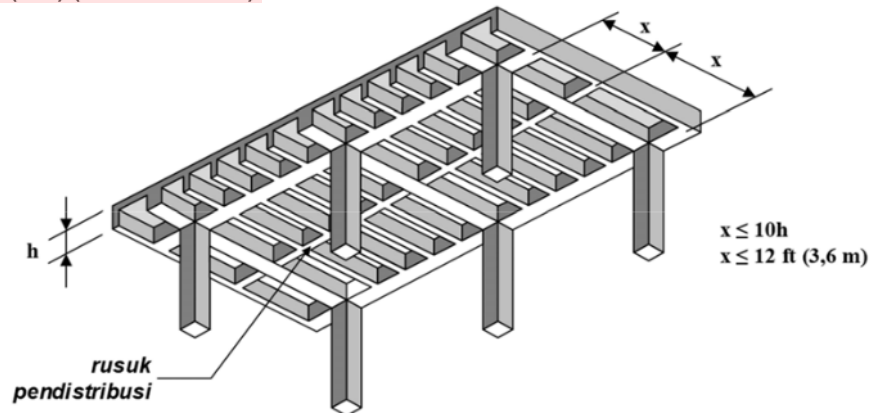
Gambar 6.1.3.1a – Sistem joist lantai.



Gambar 6.1.3.1b – Batasan dimensi joist.

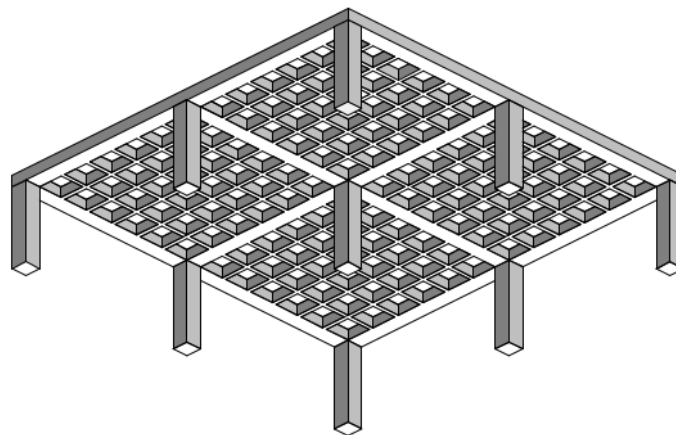
6.1.3.1.1 Tipe cetakan — Ketika joist memiliki kedalaman yang sama dengan girder, dapat digunakan cetakan pelat datar yang ditumpu di tepi. Joist yang lebih pendek daripada girder dapat menjadikan cetakan lebih kompleks. Untuk membuat lubang, digunakan cetakan berbentuk panci (*pans*) atau kubah (*domes*) permanen dan yang bisa dilepas dengan bentuk dan material yang berbeda. Di antara yang umum digunakan adalah cetakan berbentuk panci kayu permanen yang dapat dilepas: logam, fiberglass yang dapat dilepas, plastik, cetakan berbentuk panci plastik *polystyrene*: atau semen permanen, *cinder*, atau blok pengisi tanah liat.

6.1.3.2 Rusuk pendistribusi (*distribution ribs*) — Untuk meningkatkan distribusi beban dan menghindari terjadinya konsentrasi beban pada joist tunggal dalam sistem joist satu arah, jarak antar rusuk pendistribusi transversal tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 10 kali total kedalaman balok h dan 12 ft (4 m) (Gambar 6.1.3.2).



Gambar 6.1.3.2 – Rusuk pendistribusi.

6.1.3.3 Sistem joist dua arah — Untuk bentang yang kurang lebih sama pada kedua arahnya, akan menguntungkan apabila menggunakan joist dua arah. Agar sistem dapat diklasifikasikan sebagai sistem joist, joist harus ditumpu pada girder. Sistem ini disebut sistem slab wafel pada balok (*waffle-slab-on-beam*) (Gambar 6.1.3.3). Apabila balok dihilangkan, sistem ini disebut sistem slab wafel, dijelaskan pada 6.1.4.5.



Gambar 6.1.3.3 – Sistem joist dua arah atau sistem slab wafel pada balok.

6.1.3.3.1 Keuntungan sistem joist — Sistem joist dapat mengakomodasi bentang menengah hingga bentang panjang dengan berat sendiri yang relatif rendah. Sangat mudah untuk menentukan perforasi kecil, saluran (*duct*), dan lubang menerus (*shaft*). Untuk beban hidup yang berat atau beban permanen yang besar, batas lendutan layan dapat dengan mudah dipenuhi karena tebal sistem yang relatif besar. Jarak bersih antar joist merupakan nilai optimasi antara slab atas yang lebih tipis dan jumlah joist yang lebih banyak, dengan demikian memungkinkan perancang lebih bebas dalam memilih dimensi yang sesuai.

6.1.3.3.2 Kelemahan sistem joist — Sistem joist menuntut lebih banyak keahlian dari sistem lainnya. Untuk tata letak bidang yang tidak simetris, prosedur perancangan dan konstruksinya lebih kompleks dari sistem lainnya. Untuk hunian apartemen dan kantor, sistem ini mungkin memerlukan plafon interior atau sisi bawah (*soffit*) beton di bawahnya, yang akhirnya membutuhkan cetakan berbentuk panci atau kubah permanen. Lubang besar, saluran, atau bukaan mengganggu beberapa joist, yang beban tributarinya harus ditransfer ke joist lainnya, sehingga membuat desain dan konstruksi menjadi lebih rumit. Jika tinggi joist berbeda dari tinggi girder, keuntungan penggunaan cetakan pelat datar akan hilang.

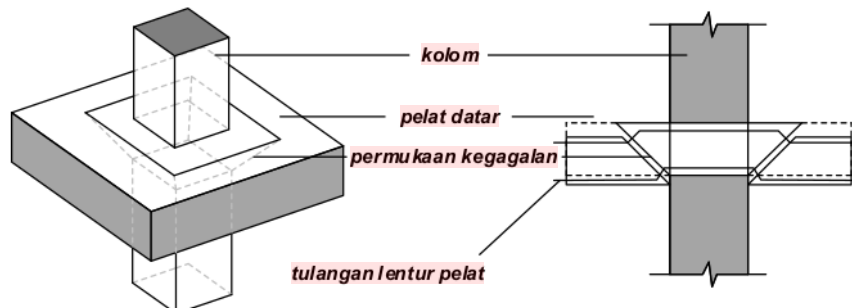
6.1.4 Sistem kolom-slab

6.1.4.1 Deskripsi — Dalam sistem kolom-slab, slab ditumpu langsung oleh kolom tanpa balok maupun girder. Sistem memiliki beberapa variasi yang tercantum dalam 6.1.4.2 hingga 6.1.4.5. Masalah yang terkait dengan sistem jenis ini diketahui sejak awal pengembangan beton bertulang, yaitu kegagalan geser pons (*punching*) dari slab yang dijelaskan pada Gambar 6.1.4.1.2.

6.1.4.1.1 Keuntungan dari sistem kolom-slab — Sistem kolom-slab umumnya menghasilkan tebal slab yang lebih tipis. Sistem ini memberikan fleksibilitas pada lokasi kolom, karena beberapa deviasi dari sumbu horizontal atau garis kolom diperbolehkan. Secara umum, sistem ini tidak perlu plafon interior. Penggunaan cetakan pelat datar menyederhanakan konstruksi. Penempatan penulangan menjadi lebih mudah karena tidak memerlukan sengkang (kecuali pada slab wafel), sehingga memungkinkan pelaksanaan konstruksi yang lebih efisien. Perforasi, saluran, dan bukaan dapat ditempatkan di bagian tengah slab panel.

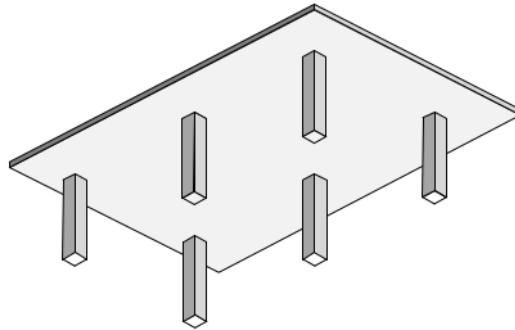
6.1.4.1.2 Kelemahan sistem kolom-slab — Kelemahan utama dari sistem ini adalah rentan terhadap kegagalan geser pons. Untuk mengatasi kegagalan geser pons, tebal slab ini mungkin harus ditingkatkan, sehingga membuat slab lebih berat. Menggunakan panel drop (*drop panel*) dan kapital kolom (*column capital*) membantu meningkatkan ketahanan geser pons akan tetapi menyulitkan desain dan konstruksi. Bentang menjadi lebih pendek dari bentang sistem lainnya karena berat sendiri lebih besar dan tebal slab lebih tipis. Apabila bentang diperbesar, hal ini memungkinkan terjadinya lendutan jangka panjang yang akibat beban permanen. Lendutan ini dapat mempengaruhi dinding dan partisi, terutama pada pasangan dinding bata. Perforasi, saluran, dan bukaan tidak boleh diletakkan di dekat kolom karena bukaan ini mengurangi kekuatan geser pons. Kinerja seismik dari sistem kolom slab tanpa adanya kekakuan lateral dari dinding beton bertulang dapat berperilaku tidak sebaik sistem struktural lainnya pada saat gempa.

6.1.4.2 Kegagalan geser pons — Masalah yang terkait dengan jenis sistem slab ini dikenal sejak perkembangan awal beton bertulang yaitu kegagalan geser pons slab seperti dijelaskan pada Gambar 6.1.4.2.



Gambar 6.1.4.2 – Kegagalan geser pons.

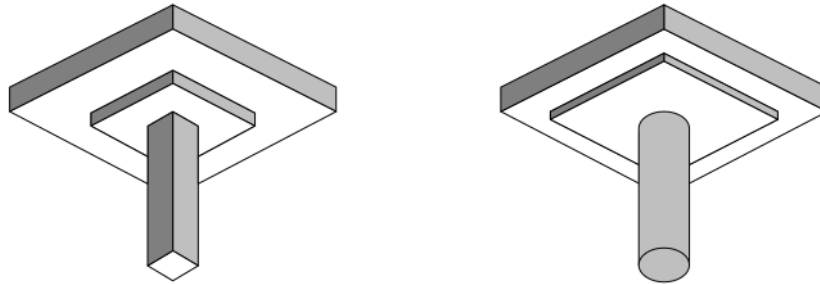
6.1.4.3 *Pelat datar* — Slab dengan tebal seragam yang ditumpu oleh kolom disebut pelat datar (Gambar 6.1.4.3).



Gambar 6.1.4.3 – Sistem pelat datar

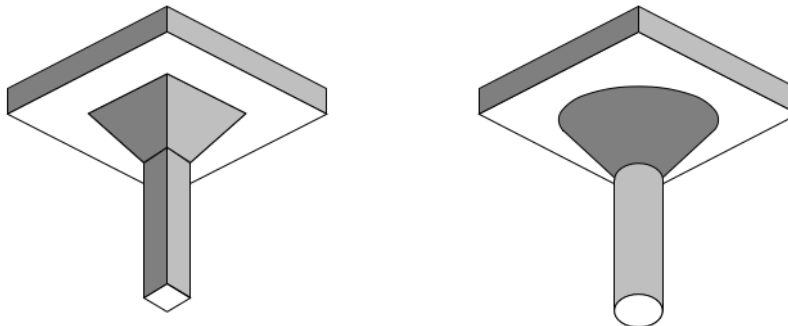
6.1.4.4 *Slab datar* — Untuk meningkatkan ketahanan terhadap geser pons (Gambar 6.1.4.2) dan untuk meningkatkan kekuatan lentur keseluruhan, slab dapat ditebalkan di sekitar kolom. Sistem ini disebut sistem slab datar.

Bagian yang lebih tebal dan berbentuk persegi panjang di sekitar kolom disebut panel drop, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.4.4a. Apabila menggunakan panel drop, kekuatan geser pons pada kolom dan pada tepi panel drop perlu dicek.

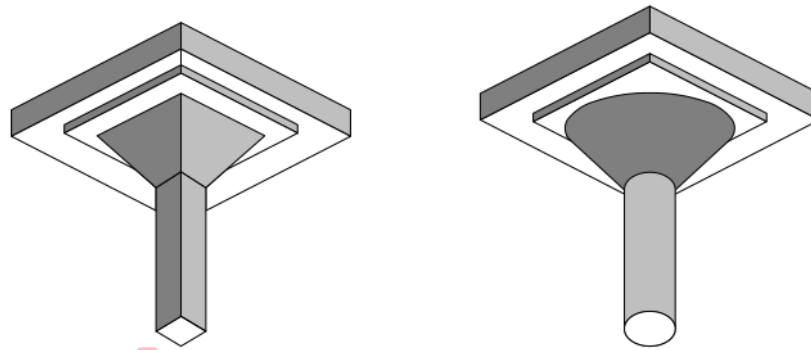


Gambar 6.1.4.4a – Panel drop.

Pilihan lain adalah meningkatkan luas bidang kontak antara kolom dan slab dengan membentuk kapital kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.4.4b. Dalam beberapa kasus, sistem kapital kolom dan panel drop digabungkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.4.4c. Pada sistem ini, terdapat dua zona yang potensial terhadap kegagalan geser pons dan kedua zona tersebut harus diperiksa dalam desain.

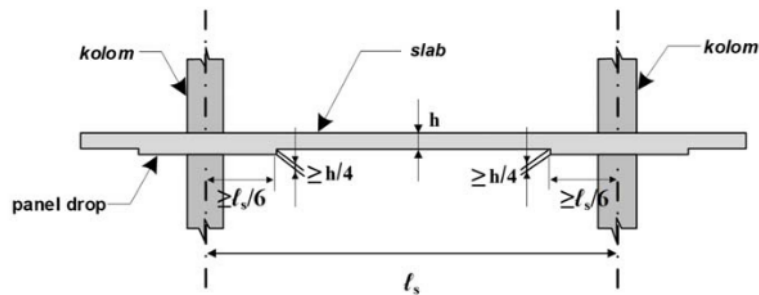


Gambar 6.1.4.4b – Kapital kolom.



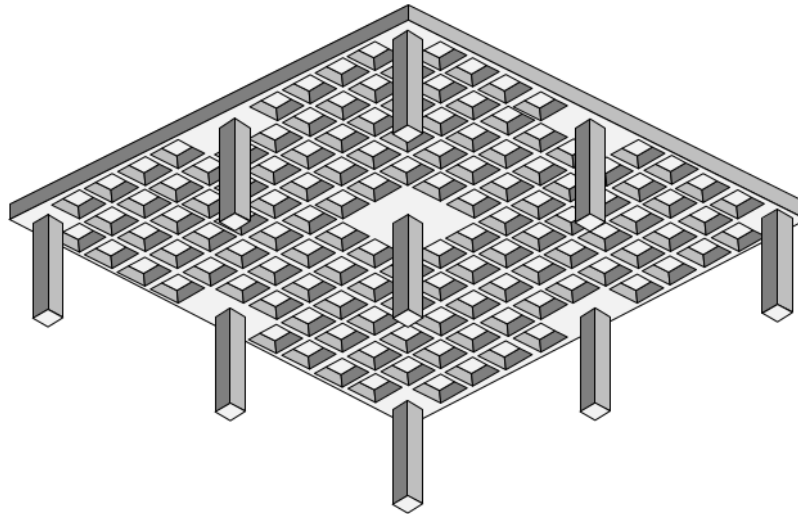
Gambar 6.1.4.4c – Kapital kolom dan panel drop.

Panel drop harus menonjol paling tidak seperempat dari tebal slab di luar panel drop dan harus meluas pada setiap arah dari garis tengah kolom dengan jarak tidak kurang dari seperenam panjang bentang diukur dari jaraknya ke pusat kolom pada arah tersebut (Gambar 6.1.4.4d).



Gambar 6.1.4.4d – Dimensi minimum panel drop.

6.1.4.5 Slab wafel — Untuk bentang yang lebih panjang, terbentuk ruang-ruang kosong (*void*) pada bagian bawah slab yang jauh dari kolom. Sistem ini disebut slab wafel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.4.5. Dimensi joist pada slab wafel harus sesuai dengan dimensi minimum untuk joist berdasarkan 6.1.3.1.



Gambar 6.1.4.5 – Slab wafel

Sistem ini sangat mirip dengan joist dua arah. Perbedaan utamanya adalah bahwa pada joist dua arah, balok terletak pada garis kolom, sementara pada slab wafel semua elemennya adalah joist dan void di sekitar kolom terisi, sehingga membentuk kapital kolom. Kapital kolom yang solid harus mengikat setidaknya tiga joist pada setiap arah untuk kolom interior, dan paling tidak dua joist paralel terhadap tepi di tepi dan sudut kolom. Cetakan berbentuk panci atau kubah untuk slab wafel bisa permanen, terbuat dari balok beton, atau dapat juga dilepas apabila terbuat dari kayu, fiberglass (*fiberglass*) atau plastik seperti yang dijelaskan untuk sistem joist pada 6.1.3.1.

6.2 – Pemilihan sistem lantai

Perancang profesional bersertifikat harus memilih sistem lantai dari sistem yang tercakup pada panduan ini seperti yang dijelaskan pada 6.1. Beberapa alternatif harus dipelajari, dan pemilihan akhir harus mempertimbangkan:

- a) Besarnya beban mati dan beban hidup termasuk berat badan sendiri
- b) Geometri tata letak denah struktural, termasuk panjang bentang pada kedua arah perancangan dan rasio antara keduanya
- c) Keberadaan kantilever dan bentang dan arah maksimumnya
- d) Jenis hunian
- e) Kekuatan beton yang tersedia dan kekuatan material baja
- f) Perilaku yang diharapkan dari sistem slab dan karakteristiknya yang dapat memenuhi kriteria kondisi layan dan lendutan
- g) Jumlah material untuk beton, baja, dan cetakan yang diperlukan untuk membangun sistem lantai, terdiri dari sebagian besar material yang diperlukan untuk membangun gedung.
- h) Preferensi lokal untuk menyederhanakan koordinasi konstruksi
- i) Pelatihan dan kecakapan pekerja, karena beberapa sistem membutuhkan lebih banyak pelatihan dan keahlian daripada yang pada umumnya dapat dilakukan oleh pekerja lokal
- j) Alternatif biaya relatif dengan keuntungan ekonomi yang dievaluasi hanya setelah sistem memberikan perilaku dan keamanan yang diharapkan

6.3 – Integritas struktural

6.3.1 Umum — Pasal 6.3.2 hingga Pasal 6.3.5 mendasari konsep pendetailan untuk integritas struktural. Integritas struktural harus meningkatkan redundansi dan daktilitas struktur secara keseluruhan agar dapat berfungsi apabila terjadi kerusakan pada elemen penumpu utama atau pada peristiwa pembebanan abnormal dengan membatasi kerusakan pada area yang relatif kecil dan menjaga stabilitas struktur secara keseluruhan.

6.3.2 Balok perimeter dalam sistem slab dan girder, dan sistem joist — Balok harus menghubungkan semua kolom perimeter dan dinding beton bertulang dari struktur. Balok atau girder perimeter ini harus memiliki luas tulangan longitudinal atas dan bawah minimum yang menerus dengan sengkang tertutup, seperti ditunjukkan pada 8.5.2.1. Splais lewatan tulangan longitudinal harus menggunakan panjang splais lewatan berdasarkan 5.8.2.

6.3.3 Balok dan girder non-perimeter — Semua balok dan girder yang tidak tercakup dalam 6.3.2 harus memiliki sengkang tertutup dan luas tulangan longitudinal bawah minimum yang menerus dengan sengkang tertutup seperti yang ditunjukkan pada 8.4 dan 8.5. Splais lewatan tulangan longitudinal ini harus disambung pada atau di dekat tumpuan menggunakan panjang splais lewatan berdasarkan 5.8.2.

6.3.4 Joist — Pada joist, paling tidak satu batang tulangan bawah harus menerus atau disambungkan melewati tumpuan dengan menggunakan panjang splais lewatan berdasarkan 5.8.2. Pada tumpuan tidak menerus, paling tidak satu batang tulangan bawah harus dihentikan dengan menggunakan kait standar (8.4).

6.3.5 Sistem kolom-slab — Pada sistem kolom-slab, penulangan menerus minimum untuk integritas struktur harus disediakan sebagaimana ditunjukkan pada Bab 9.

6.4 – Alur beban satu arah dan dua arah

6.4.1 Umum — Alur beban sistem lantai harus diklasifikasikan sebagai satu arah atau dua arah. Alur beban aktual, dari titik aplikasi ke tumpuan, tergantung pada dimensi rencana dan kekakuan elemen penumpu.

6.4.2 Alur beban satu arah — Slab satu arah harus dianggap satu arah apabila:

- Dua tepi bebas yang berseberangan tanpa tumpuan vertikal dan dengan tumpuan vertikal seperti balok atau dinding di dua tepi yang berlawanan lainnya
- Bentuk denah persegi panjang dan memiliki tumpuan vertikal di semua sisi di mana bentang slab yang lebih panjang lebih dari dua kali bentang slab yang lebih pendek
- Joist, kecuali rusuk pendistribusi, hanya dalam satu arah

6.4.3 Alur beban dua arah — Suatu slab harus dianggap dua arah apabila:

- Panel slab memiliki bentuk denah persegi panjang dan memiliki tumpuan vertikal seperti balok atau dinding, di semua sisi di mana bentang slab yang lebih panjang kurang dari atau sama dengan dua kali bentang slab yang lebih pendek
- Dalam sistem kolom-slab, panel memiliki bentuk denah persegi panjang dan bentang slab panjang kurang dari atau sama dengan dua kali bentang slab pendek

6.4.4 Alur beban sistem lantai — Perkiraan alur beban (satu atau dua arah) harus diidentifikasi dan digunakan untuk menetapkan beban tributrari ke semua elemen penumpu slab dan untuk menentukan dimensi awal dari slab dan elemen penumpunya. Alur beban dan beban tributrari harus diverifikasi setelah elemen struktur ditentukan dimensinya, didesain, dan dikoreksi sesuai kebutuhan.

6.5 – Tebal minimum untuk elemen sistem lantai

6.5.1 Umum — Tebal minimum untuk elemen sistem lantai yang diberikan dalam 6.5.2 hingga 6.5.5 harus dipertimbangkan untuk memenuhi kondisi batas layan dan memberikan kekakuan yang cukup untuk menghindari terjadinya lendutan elemen yang berlebihan akibat beban mati dan beban hidup.

Tabel 6.5.2.2 – Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan

Kontinuitas tumpuan	Tebal minimum h
Tumpuan sederhana	$l_s/20$
Satu ujung menerus	$l_s/24$
Dua ujung menerus	$l_s/28$
Kantilever	$l_s/10$

Tabel 6.5.2.3 – Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan

Kontinuitas tumpuan	Tebal minimum h
Tumpuan sederhana	$l_s/14$
Satu ujung menerus	$l_s/16$
Dua ujung menerus	$l_s/19$
Kantilever	$l_s/7$

Tabel 6.5.3.1 – Tinggi balok minimum h untuk girder, balok dan joist satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan

Kontinuitas tumpuan	Tebal minimum h
Tumpuan sederhana	$l_s/16$
Satu ujung menerus	$l_s/18,5$
Dua ujung menerus	$l_s/21$
Kantilever	$l_s/8$

Tabel 6.5.3.2 – Tinggi balok minimum h for girder, balok dan joist satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan

Kontinuitas tumpuan	Tebal minimum h
Tumpuan sederhana	$l_s/11$
Satu ujung menerus	$l_s/12$
Dua ujung menerus	$l_s/14$
Kantilever	$l_s/5$

Tabel 6.5.5a – Tebal minimum slab untuk sistem kolom-slab yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan

Tipe sistem kolom-slab	Lokasi panel	Tebal minimum slab h
Tanpa panel drop	Eksterior	$l_n/30$
	Interior	$l_n/33$
Dengan panel drop	Eksterior	$l_n/33$
	Interior	$l_n/36$

6.5.2 Slab solid satu arah

6.5.2.1 *Slab antar joist* — Slab harus memiliki tebal minimum $\ell/12$, tetapi tidak boleh kurang dari 1-1/2 in (40 mm) apabila beton permanen atau blok pengisi tanah liat digunakan sebagai cetakan ataupun kurang dari 2 in. (50 mm) dalam semua kasus lainnya.

6.5.2.2 *Lendutan elemen nonstruktural yang tidak sensitif* — Apabila slab yang menumpu elemen nonstruktural terbuat dari bahan yang tidak akan rusak oleh lendutan besar, tebal slab h tidak boleh kurang dari yang terspesifikasi pada Tabel 6.5.2.2, dengan ℓ_s adalah jarak antar pusat tumpuan. Jika bentang bersih kurang dari 10 ft (3 m), ℓ_s adalah bentang bersih.

6.5.2.3 *Elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan* — Apabila slab yang menumpu elemen nonstruktural yang terbuat dari bahan yang akan rusak oleh lendutan besar, kedalaman slab h tidak boleh kurang dari yang terspesifikasi pada Tabel 6.5.2.3, dengan ℓ_s harus diambil sebagai jarak antar pusat tumpuan. Jika bentang bersih kurang dari 10 ft (3 m), ℓ_s adalah bentang bersih.

6.5.3 *Girder, balok, dan joist satu arah*

6.5.3.1 *Elemen nonstruktural yang tidak peka terhadap lendutan* — Apabila girder, balok atau joist satu arah menumpu elemen nonstruktural yang terbuat dari bahan yang tidak akan rusak oleh lendutan besar, h tidak boleh kurang dari yang terspesifikasi pada Tabel 6.5.3.1, dengan ℓ_s harus diambil sebagai jarak antar pusat tumpuan. Untuk joist di mana bentang bersihnya kurang dari 10 ft (3 m), ℓ_s adalah bentang bersih.

6.5.3.2 *Elemen nonstruktural yang peka terhadap lendutan* — Apabila girder, balok atau joist satu arah menumpu elemen nonstruktural yang terbuat dari bahan yang akan rusak oleh lendutan besar, h tidak boleh kurang dari yang terspesifikasi pada Tabel 6.5.3.2, dengan ℓ_s harus diambil sebagai jarak antar pusat tumpuan. Untuk joist di mana bentang bersihnya kurang dari 10 ft (3 m), ℓ_s adalah bentang bersih.

6.5.4 *Slab dua arah ditumpu pada semua sisi* — Tebal minimum slab dua arah, termasuk joist dua arah dan sistem wafel pada balok, ditumpu oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang pada semua tepi panel diberikan berdasarkan Persamaan. (6.5.4). Girder atau balok penopang harus memiliki tinggi tidak kurang dari tiga kali tebal slab (7.9.1). Tebal slab solid tidak boleh kurang dari 5 in. (125 mm) untuk ℓ_n lebih besar dari 10 ft (3 m) dan tidak boleh kurang dari 4 in. (100 mm) untuk in kurang dari atau sama dengan 10 ft (3 m).

$$h = \frac{\ell_n}{30 + 3\beta} \quad (6.5.4)$$

dengan ℓ_n adalah bentang bersih dalam arah memanjang, diukur dari sisi antar muka balok penumpu, dan β adalah rasio bentang bersih yang lebih panjang terhadap bentang bersih yang lebih pendek dari panel slab.

6.5.5 *Sistem kolom-slab* — Untuk slab tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan, termasuk slab wafel, dan memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek tidak lebih dari 2:

- a) Untuk slab yang menumpu elemen nonstruktural yang terbuat dari bahan yang tidak akan rusak oleh lendutan besar, tebal minimum terspesifikasi pada Tabel 6.5.5a.
- b) Untuk slab yang menumpu elemen nonstruktural yang terbuat dari bahan yang akan rusak oleh lendutan besar, tebal minimum terspesifikasi pada Tabel 6.5.5b.
- c) Tebal slab minimum tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan pada (i) dan (ii) untuk slab solid.
 - i. Slab tanpa panel drop: 6 in. (150 mm)
 - ii. Slab dengan panel drop, dengan dimensi panel drop berdasarkan 6.1.4.4: 5 in (125 mm).

6.6 – Dimensi awal untuk sistem lantai

Dimensi awal untuk elemen sistem lantai harus ditentukan menggunakan tebal minimum seperti yang diberikan pada Bab 6. Dimensi awal harus ditetapkan menggunakan h berdasarkan 6.5. Lebar

awal b_w untuk balok adalah setengah dari h tetapi tidak kurang dari 8 in. (200 mm) dan b_w untuk joist adalah dimensi lebar minimum yang diberikan pada 6.1.3.1. Dimensi awal ini memenuhi kondisi batas layan dan seiring dengan proses desain, dimensi tersebut harus dimodifikasi sesuai kondisi batas kekuatan. Berat sendiri yang dihitung menggunakan dimensi awal harus selalu dikoreksi terhadap modifikasi dimensi yang terjadi selama proses desain.

6.7 – Finishing Lantai

Finishing lantai tidak boleh dimasukkan sebagai bagian elemen struktural kecuali dicor secara monolit dengan slab lantai. Dijijinkan untuk memperhitungkan semua lapisan beton dan mortar sebagai bagian dari penutup lantai.

6.8 – Saluran, lubang menerus, bukaan, dan perpipaan yang tertanam

6.8.1 Saluran, lubang menerus, dan bukaan pada sistem slab

6.8.1.1 Sistem slab pada girder — Pada sistem slab pada girder, bukaan minor tidak boleh mengganggu girder maupun balok. Luas total tulangan untuk slab tanpa bukaan harus dipertahankan. Bukaan dengan dimensi denah lebih besar dari $\ell_n/4$ membutuhkan balok pada semua sisi.

Tabel 6.5.5b – Tebal minimum sistem kolom-slab yang menumpu elemen non struktural yang sensitif terhadap lendutan

Tipe sistem kolom-slab	Lokasi panel	Tebal slab minimum, h
Tanpa panel drop	Eksterior	$\ell_n / 22,5$
	Interior	$\ell_n / 25$
Dengan panel drop	Eksterior	$\ell_n / 25$
	Interior	$\ell_n / 27$

Catatan: ℓ_n merupakan bentang terpanjang

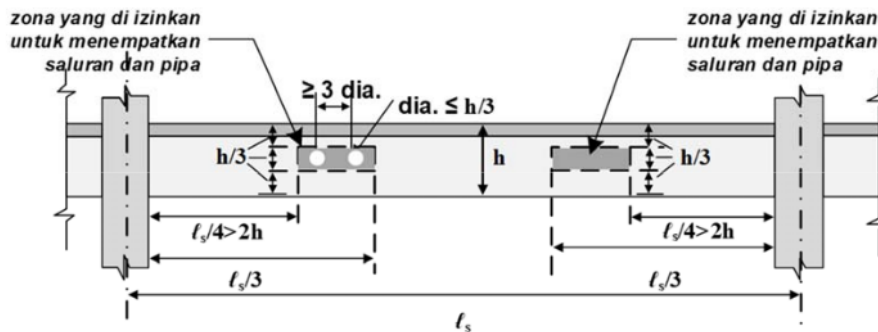
6.8.1.2 Konstruksi joist — Pada konstruksi joist, bukaan minor harus ditempatkan di antara joist. Ketika bukaan memotong satu atau dua joist, bukaan tersebut harus dikelilingi oleh joist dan rusuk pendistribusi (*distribution ribs*). Joist pada tepi bukaan harus kontinu dan proporsional untuk menahan dua kali lipat beban vertikal desain. Rusuk pendistribusi di tepi bukaan harus memanjang ke balok atau girder pada kedua sisi bukaan. Apabila lebih dari dua joist terputus, bukaan harus memiliki balok pada semua sisi.

6.8.1.3 Bukaan dalam sistem kolom-slab — Pada Bab 9 bukaan slab diizinkan di beberapa area (9.3.9) apabila kekuatan geser pons tidak berkurang dan total luas tulangan yang dibutuhkan untuk panel tanpa bukaan dipertahankan.

6.8.2 Saluran dan pipa yang tertanam

6.8.2.1 Umum — Saluran dan pipa aluminium tidak boleh tertanam pada elemen struktural. Saluran dan pipa dari material apapun tidak boleh tertanam pada kolom.

6.8.2.2 Saluran dan pipa yang menembus girder, balok, dan joist — Saluran atau pipa yang menembus girder, balok, atau joist diameter luarnya tidak boleh lebih besar daripada $h/3$ saat menembus secara horizontal, atau lebih besar dari $b_w/3$ apabila menembus secara vertikal. Saluran atau pipa harus ditempatkan pada daerah rencana tidak lebih dekat daripada $\ell_s/4$ ke permukaan tumpuan atau lebih jauh dari $\ell_s/3$. Saluran dan pipa yang menembus secara horizontal melalui elemen harus ditempatkan di sepertiga tengah dari tinggi elemen. Saluran dan pipa yang menembus secara vertikal melalui elemen harus berada di sepertiga tengah dari lebar elemen. Pipa dan saluran harus diberi jarak horizontal antara paling tidak tiga kali diameter dari as ke as (Gambar 6.8.2.2). Tulangan seharusnya tidak boleh dipotong atau rusak akibat penetrasi pipa di lokasi mana pun kecuali disetujui oleh perancang profesional bersertifikat.



Gambar 6.8.2.2 – Lokasi saluran dan pipa yang menembus girder, balok dan joist secara horizontal.

6.8.2.3 Saluran dan pipa yang ditempatkan memanjang di dalam girder, balok, dan joist — Saluran dan pipa yang ditanam secara memanjang dalam girder, balok atau joist harus memiliki diameter luar tidak lebih besar dari $b_w/3$ dan harus ditempatkan secara vertikal di sepertiga tengah dari tinggi elemen. Saluran atau pipa sebaiknya tidak berjarak lebih kecil dari tiga kali diameter dari as ke as.

6.8.2.4 Saluran dan pipa yang tertanam dalam slab — Saluran dan pipa yang tertanam di dalam slab solid harus ditempatkan memanjang di antara tulangan atas dan bawah. Diameter luarnya tidak boleh lebih besar dari 2 in. (50 mm) atau 25 persen dari tebal slab dan harus diberi jarak antara tidak kurang dari tiga kali diameter dari as ke as.

6.8.2.5 Pipa yang tertanam di slab atas di balok — Apabila saluran atau pipa tertanam di dalam slab atas pada joist, tebal slab atas harus paling tidak 1 in. (25 mm) lebih besar dari total tinggi keseluruhan saluran atau pipa dan selimut beton di setiap titik tidak boleh kurang dari 1/2 in. (13 mm).

1 BAB 7 – SLAB SOLID TERTUMPU DI ATAS GIRDER, BALOK, JOIST, ATAU DINDING BETON BERTULANG

7.1 – Umum

Desain slab solid satu dan dua arah yang tertumpu ditepi-tepinnya dengan girder, balok, atau dinding beton bertulang harus sesuai dengan Bab 7. Slab solid atas yang membentang di antara joist juga termasuk.

7.2 – Beban

7.2.1 *Beban-beban yang diperhitungkan* — Beban desain untuk slab solid yang ditumpu girder, balok, joist, atau dinding beton bertulang harus sesuai dengan Pasal 4. Beban-beban gravitasi yang harus dimasukkan dalam desain adalah:

- a) Beban mati: Berat sendiri komponen struktur, elemen nonstruktural yang mendatar, elemen nonstruktural yang berdiri, dan beban-beban peralatan tetap.
- b) Beban hidup
- c) Beban hidup atap, beban hujan, dan beban salju harus digunakan apabila slab merupakan bagian dari sistem atap

7.2.2 *Beban mati dan beban hidup* — Nilai q_d untuk beban mati harus mencakup berat sendiri slab dan berat elemen nonstruktural horizontal dan vertikal sebagaimana dijelaskan dalam 4.5.3. Nilai q_e untuk beban hidup harus ditentukan dengan 4.6. Apabila slab merupakan bagian dari sistem atap, maka beban hidup atap yang ditentukan dalam 4.7, beban hidup dalam 4.8, dan beban salju dalam 4.9, yang sesuai, harus dimasukkan.

7.2.3 *Beban desain terfaktor* — Nilai beban desain terfaktor, q_u , harus merupakan nilai terbesar yang ditentukan dengan mengombinasikan q_d dan q_e dengan dengan faktor beban dan kombinasi beban yang ditentukan dalam 4.2.

7.3 – Detail penulangan

7.3.1 *Umum* — Penulangan slab di atas girder harus sesuai dengan 7.3.2 sampai dengan 7.3.10.

7.3.2 *Spasi bersih minimum antar tulangan-tulangan yang sejajar di satu lapis* — Pada slab, spasi bersih minimum antar tulangan-tulangan yang sejajar di satu lapis harus sebesar diameter tulangan nominal terbesar, d_b , tetapi tidak kurang dari 1 in. (25 mm). Pembatasan jarak bersih antar tulangan-tulangan harus berlaku juga untuk jarak bersih antara splais lewatan kontak dan splais atau tulangan terdekat.

7.3.3 *Tulangan susut dan temperatur*

7.3.3.1 *Deskripsi* — Tulangan untuk efek susut dan temperatur yang tegak lurus tulangan lentur slab harus disediakan dalam slab di atas girder, dengan tulangan lentur dipasang hanya dalam satu arah.

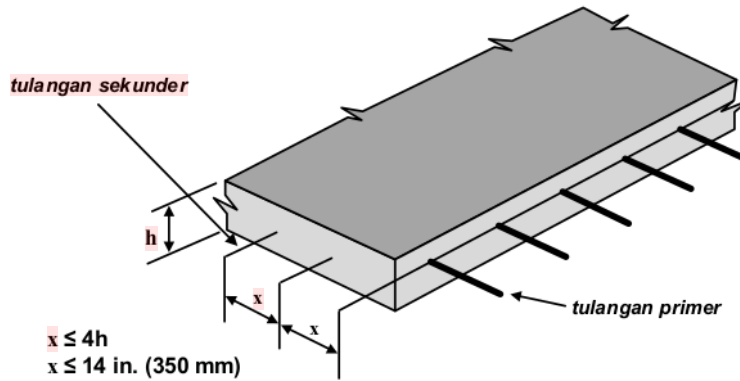
7.3.3.2 *Lokasi* — Untuk slab lantai, tulangan susut dan temperatur harus ditempatkan di atas dan tegak lurus tulangan lentur positif. Untuk slab atap, tulangan tersebut harus ditempatkan di bawah dan tegak lurus tulangan lentur negatif untuk membatasi ukuran dan spasi retak dan, dengan demikian, mereduksi kemungkinan infiltrasi air.

7.3.3.3 *Spasi maksimum* — Dalam slab solid, tulangan susut dan temperatur harus dipasang dengan spasi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab, atau 14 in. (350 mm) (mengacu pada Gambar 7.3.3.3).

7.3.3.4 *Luas minimum* — Rasio minimum luas tulangan susut dan temperatur terhadap luas bruto beton, $\rho_t = A_{st}/(bh)$, harus 0,0020.

7.3.3.5 Pensplaisan – Splais lewatan tulangan susut dan temperatur diizinkan berada di manapun. Panjang sambungan harus sesuai dengan 5.8.2.

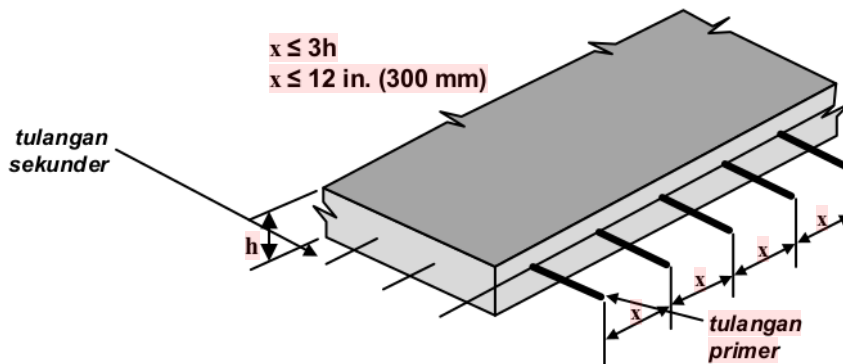
7.3.3.6 Pengangkuran ujung — Pada tepi slab, tulangan susut dan temperatur harus berakhir dengan kait standar. Apabila dibatasi oleh geometri slab, kait ujung tidak perlu dipasang secara vertikal.



Gambar 7.3.3.3 – Spasi maksimum antar tulangan-tulangan susut dan temperatur dalam slab.

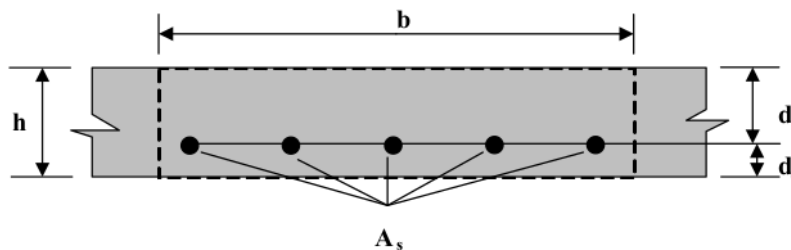
7.3.4 Tulangan lentur: umum

7.3.4.1 Spasi maksimum tulangan lentur dalam slab solid — Dalam slab solid, tulangan lentur primer (Gambar 7.3.4.1) harus dipasang dengan spasi tidak lebih besar dari tiga kali tebal slab, atau 12 in. (300 mm).



Gambar 7.3.4.1 – Spasi maksimum antar tulangan lentur dalam slab solid.

7.3.4.2 Luas tulangan tarik lentur minimum — Luas tulangan tarik lentur dalam slab solid minimum harus sebesar luas yang diperlukan untuk efek susut dan temperatur, $A_s \geq \rho_t b h$ (7.3.3.4 dan Gambar 7.3.4.2).



Gambar 7.3.4.2 – Penampang slab.

7.3.4.3 Luas tulangan tarik lentur maksimum — Rasio tulangan tarik lentur, $\rho_{t\ell} = A_s/bd$, dalam slab solid tidak boleh melampaui ρ_{max} dalam Tabel 5.11.4.2. Dalam slab solid, tulangan tekan lentur dapat diabaikan pada saat menghitung kekuatan momen desain.

7.3.4.4 Kekuatan momen desain — Untuk slab solid, kekuatan momen desain dari Pers. (5.11.4.2) harus digunakan.

7.3.4.5 Menentukan rasio tulangan tarik lentur — Rasio tulangan tarik lentur, $\rho = A_s/bd$, harus ditentukan dari Pers. (5.11.4.4).

Apabila ρ lebih kecil dari ρ_{min} , sebagaimana ditentukan dalam 7.3.4.2, perbesar A_s . Apabila ρ lebih besar dari ρ_{max} , sebagaimana ditentukan dalam 7.3.4.3, perbesar tebal slab dan koreksi berat sendiri.

7.3.5 Tulangan momen positif

7.3.5.1 Deskripsi — Tulangan momen positif, seperti diindikasikan dalam Pasal 7, harus sesuai dengan 7.3.4, 7.3.5, dan 7.5 sampai dengan 7.9 untuk setiap jenis slab. Kekuatan momen desain suatu penampang yang berdasarkan luas tulangan momen positif tersedia harus sama dengan atau lebih besar dari kekuatan lentur perlu.

7.3.5.2 Lokasi — Tulangan momen positif harus disediakan sejajar dengan bentang terpendek pada slab satu arah dan di kedua arah pada slab dua arah. Tulangan momen positif harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan bawah beton sesuai selimut beton yang diizinkan (5.4.1). Dalam sistem dua arah, tulangan momen positif bentang terpendek harus ditempatkan di bawah tulangan momen positif bentang terpanjang karena momen positif dalam bentang terpendek lebih besar.

7.3.5.3 Titik penghentian — Tidak lebih dari setengah tulangan momen positif yang diperlukan untuk memperoleh kekuatan lentur perlu di tengah bentang boleh dihentikan pada lokasi-lokasi yang diindikasikan dalam 7.7 sampai dengan 7.9 untuk setiap jenis slab.

7.3.5.4 Pensplaisan tulangan — Tulangan momen positif yang tersisa boleh diberi splais lewatan di antara titik penghentian dan muka tumpuan yang berlawanan.

7.3.5.5 Penanaman pada tumpuan interior — Pemotongan tulangan momen positif pada tumpuan interior harus diperpanjang hingga muka tumpuan yang berlawanan.

7.3.5.6 Pengangkuran ujung tulangan — Tulangan momen positif interior yang tegak lurus suatu tepi yang terputus harus diteruskan hingga tepi slab dan harus berakhir dengan kait standar.

7.3.6 Tulangan momen negatif

7.3.6.1 Deskripsi — Tulangan momen negatif harus disediakan dalam jumlah dan panjang seperti diindikasikan dalam Pasal 7, dan harus memenuhi 7.3.4, 7.3.6, dan 7.5 sampai dengan 7.9 untuk setiap jenis slab. Kekuatan momen desain suatu penampang yang berdasarkan luas tulangan momen negatif tersedia harus sama dengan atau lebih besar dari kekuatan lentur perlu.

7.3.6.2 Lokasi — Tulangan momen negatif harus disediakan tegak lurus girder, balok, dan dinding beton bertulang yang memikul. Tulangan momen negatif harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan atas beton sesuai selimut beton yang diizinkan (5.4.1). Dalam sistem dua arah, tulangan momen negatif bentang terpendek harus ditempatkan di bawah tulangan momen negatif bentang terpanjang karena momen negatif dalam bentang terpendek lebih besar.

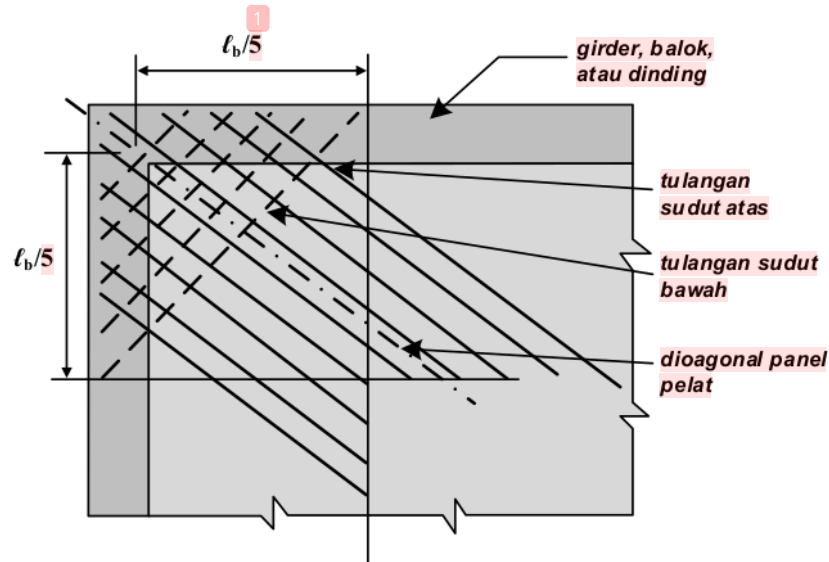
7.3.6.3 Titik penghentian — Kecuali untuk kantilever, semua tulangan momen negatif boleh dihentikan pada lokasi-lokasi yang diindikasikan dalam 7.7 sampai dengan 7.9 untuk setiap jenis slab. Apabila panjang bentang-bentang bersebelahan tidak sama, maka titik pemotongan tulangan momen negatif harus berdasarkan bentang terpanjang.

7.3.6.4 Pensplaisan tulangan — Tulangan momen negatif tidak boleh diberikan splais lewatan di antara titik pemotongan dan tumpuan.

7.3.6.5 Pengankuran ujung tulangan — Tulangan momen negatif yang tegak lurus suatu tepi yang terputus harus berakhir dengan kait standar, sesuai dengan 5.8.3. Pada tepi eksternal kantilever, tulangan momen negatif yang tegak lurus tepi harus berakhir dengan kait standar. Apabila dibatasi oleh geometri slab, maka kait ujung tidak perlu dipasang secara vertikal.

7.3.7 Tulangan geser — Prosedur desain tulangan geser atau transversal dalam slab solid tidak termasuk dalam lingkup panduan ini, dan ACI 318, ASCE 7, dan International Building Code (International Building Code Council 2015) harus digunakan apabila tulangan geser slab diperlukan.

7.3.8 Tulangan sudut — Tulangan sudut atas dan bawah, selain tulangan-tulangan lain, harus disediakan pada pojok slab tertertumpu eksterior (untuk kantilever, mengacu pada 7.6) untuk jarak yang sama dengan seperlima bentang bersih panel slab terpanjang (Gambar 7.3.8). Luas tulangan sudut atas dan bawah harus cukup untuk menahan momen sebesar kekuatan lentur positif perlu, per satuan lebar, dalam panel slab, sesuai 7.3.8.1 dan 7.3.8.2.

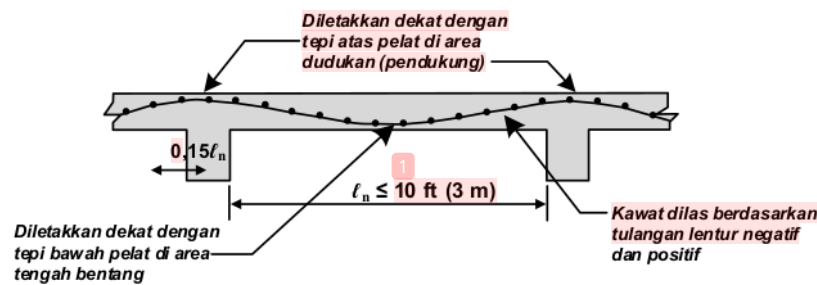


Gambar 7.3.8 – Penulangan sudut slab.

7.3.8.1 Tulangan sudut atas — Tulangan sudut yang sejajar dengan diagonal panel harus ditempatkan pada bagian atas slab, secara langsung di bawah tulangan lentur. Tulangan sudut harus berakhir dengan kait standar pada tumpuan.

7.3.8.2 Tulangan sudut bawah — Tulangan sudut yang sejajar dengan diagonal panel harus ditempatkan pada bagian bawah slab, secara langsung di atas tulangan lentur. Tulangan sudut harus berakhir dengan kait standar pada tumpuan.

7.3.9 Tulangan kawat dilas yang digunakan dalam slab bentang satu arah pendek — Dalam slab satu arah dengan bentang bersih tidak melebihi 10 ft (3 m), tulangan kawat dilas dapat bekerja sebagai tulangan momen negatif dan positif. Tulangan tersebut harus menerus, berada dekat sisi atas slab di sepanjang tumpuan dan dekat sisi bawah slab di tengah bentang, asalkan tulangan tersebut menerus atau diangkur pada tumpuan. Luas tulangan memanjang harus mencukupi untuk menahan kekuatan lentur positif dan negatif perlu (Gambar 7.3.9). Luas kawat dalam arah tegak lurus harus memenuhi luas yang diperlukan untuk tulangan susut dan temperatur.



Gambar 7.3.9 – Tulangan kawat dilas dalam bentang satu arah pendek.

7.3.10 Nilai d_c dan d dalam slab solid — Jarak dari serat tarik terluar ke pusat tulangan tarik, d_c , harus memperhitungkan selimut beton dalam 5.4, diameter batang tulangan, dan tulangan dalam arah tegak lurus yang ditempatkan di antara tulangan yang ditinjau dan permukaan beton.

Nilai d_c berikut dapat digunakan untuk menghitung d sebagai $d = h - d_c$. Untuk slab satu arah dan untuk tulangan dalam arah terpendek dalam slab dua arah, $d_c = 1,6$ in. (40 mm) untuk eksposur

interior, dan $d_c = 2,4$ in. (60 mm) untuk eksposur eksterior. Untuk tulangan dalam arah terpanjang slab dua arah, $d_c = 2.2$ in. (55 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 3$ in. (75 mm) untuk eksposur eksterior.

7.4 – Kekuatan geser

Kekuatan geser desain slab solid harus ditentukan menurut 5.13 dan 7.4.

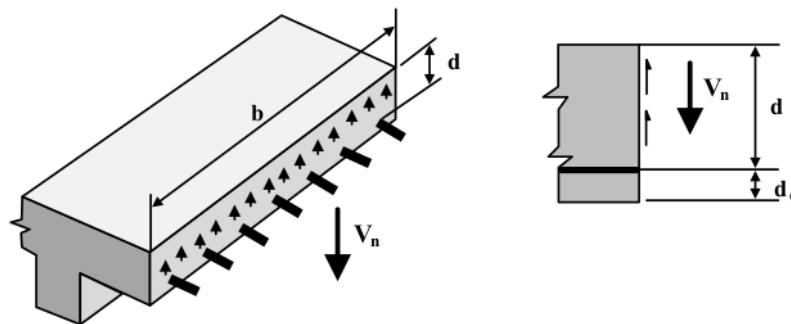
7.4.1 Kekuatan geser perlu — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser perlu) yang diakibatkan beban-beban terfaktor yang bekerja pada slab harus ditentukan pada lokasi-lokasi yang diindikasikan dalam 7.5 sampai dengan 7.9 untuk setiap jenis slab.

7.4.2 Kekuatan geser desain — Gaya geser desain ϕV_n untuk slab solid harus berdasarkan kekuatan beton saja dan harus sama dengan atau lebih besar dari kekuatan geser perlu V_u , seperti ditunjukkan dalam Pers. (7.4.2a) dengan $\phi = 0,75$ (Gambar 7.4.2).

$$\phi V_n = \phi V_c \geq V_u \quad (7.4.2a)$$

$$\phi V_c = \phi 2\sqrt{f_c'}bd \quad (7.4.2b)$$

$$[\phi V_c = \phi 0,17\sqrt{f_c'}bd \text{ (SI)}]$$



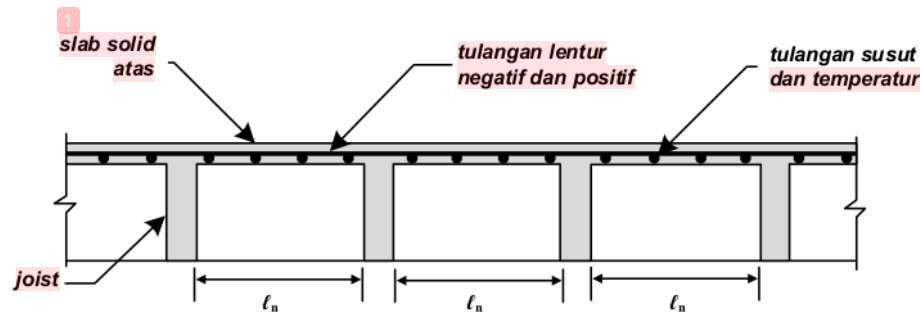
Gambar 7.4.2 – Kontribusi beton pada kekuatan geser aksi-balok dalam slab solid.

7.5 – Slab di antara joist

7.5.1 Batasan dimensi — Slab solid yang membentang di antara joist harus memenuhi tebal minimum pada 6.5.2.1. Saluran, lubang menerus (*shaft*), dan bukaan slab harus memenuhi 6.8. Slab solid atas pada konstruksi joist tidak boleh berupa kantilever melalui joist tepi (6.1.3.1).

7.5.2 Kekuatan momen perlu — Momen terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk momen negatif dan positif dalam slab di antara joist harus dihitung dengan Persamaan (7.5.2), dengan ℓ_n adalah spasi bersih antar joist (Gambar 7.5.2).

$$M_u^+ = M_u^- = \frac{q_u \ell_n^2}{12} \quad (7.5.2)$$



Gambar 7.5.2 – Penulangan slab solid atas yang membentang di antara joist.

7.5.3 Tulangan — Rasio tulangan lentur ρ yang tegak lurus arah joist harus ditentukan dengan M_u dari Persamaan (7.5.2) dan dengan d sebagai setengah tebal slab solid atas, dan tidak boleh kurang dari ρ_{min} (Gambar 7.5.2). Luas tulangan slab yang sejajar arah joist harus memenuhi kebutuhan tulangan susut dan temperatur.

7.5.4 Kekuatan geser — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser perlu) per satuan lebar slab harus dihitung dengan Pers. (7.5.4), dengan ℓ_n adalah spasi bersih antar joist (Gambar 7.5.2).

$$V_u = \frac{q_u \ell_n}{2} \quad (7.5.4)$$

Nilai d untuk menghitung kekuatan geser per satuan lebar slab desain, ϕV_n , harus sebesar setengah tebal slab.

7.5.5 Perhitungan reaksi slab — Reaksi slab di atas joist yang memikul, r_u , harus sebesar nilai yang ditentukan dari Pers. (7.5.5), dengan V_u adalah gaya geser per satuan lebar slab terfaktor dari 7.5.4, ℓ_s adalah spasi joist as ke as, dan ℓ_n adalah spasi bersih antar joist.

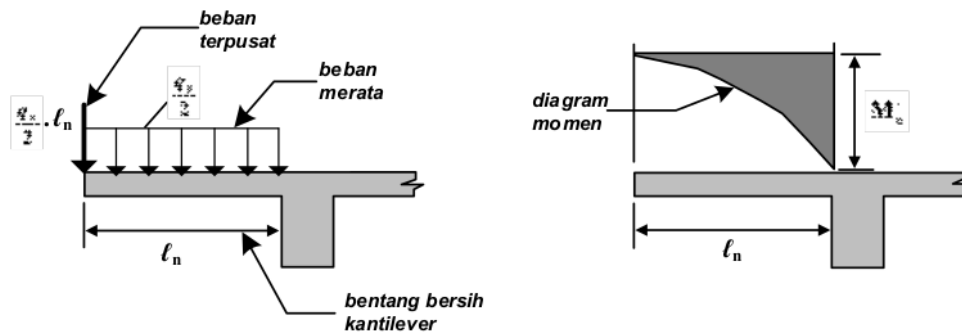
$$r_u = \frac{2V_u \ell_s}{\ell_n} \quad (7.5.5)$$

7.6 – Kantilever slab yang ditumpu girder, balok, atau dinding

7.6.1 Batasan dimensi — Suatu slab kantilever yang membentang di luar tepi girder, balok, atau dinding beton bertulang harus memenuhi tebal minimum 6.5.2. Bentang kantilever tersebut tidak boleh melebihi batasan yang ditentukan dalam 1.3. Tidak boleh ada bukaan untuk saluran atau lubang di antara tumpuan dan setengah bentang kantilever. Slab dapat memiliki kantilever dalam dua arah pada sudut, dengan batasan yang sama dengan yang berlaku untuk kantilever tunggal.

7.6.2 Kekuatan momen perlu — Momen terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk kantilever harus dihitung dengan mengasumsikan bahwa setengah beban terfaktor terdistribusi q_u bekerja sebagai beban terpusat di ujung kantilever, dan setengah lainnya bekerja sebagai beban terdistribusi merata di sepanjang bentang penuh (dengan Persamaan (7.6.2)), dengan ℓ_n adalah bentang bersih kantilever). Kekuatan momen negatif perlu untuk kantilever tidak boleh kurang dari kekuatan yang diperlukan pada tumpuan eksterior bentang interior pertama, atau sepertiga kekuatan momen positif perlu bentang interior pertama, dalam arah yang sama (Gambar 7.6.2)

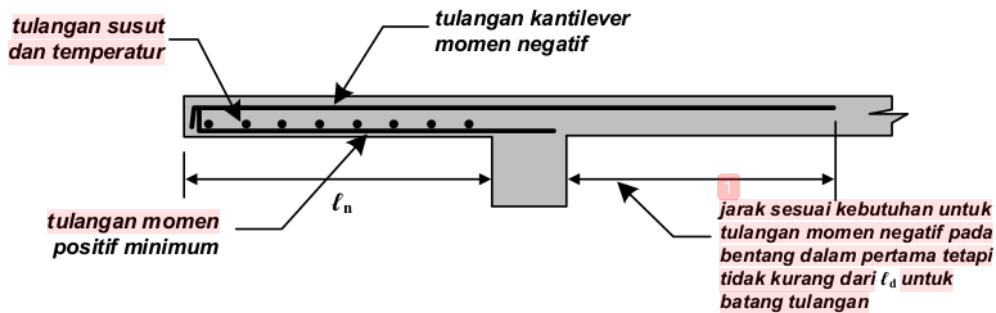
$$M_u = \frac{3q_u \ell_n^2}{4} \quad (7.6.2)$$



Gambar 7.6.2 – Perhitungan momen negatif pada kantilever slab.

7.6.3 Tulangan

7.6.3.1 Tulangan momen negatif — Rasio tulangan momen negatif ρ dalam arah kantilever harus berdasarkan M_u dari Persamaan (7.6.2). Tulangan tersebut harus memanjang melewati tumpuan pertama dengan panjang tidak kurang dari jarak yang diindikasikan untuk tulangan momen negatif panel slab interior di tepi tumpuan, dan tidak kurang dari ℓ_d untuk batang tulangan yang digunakan (Gambar 7.6.3.1).

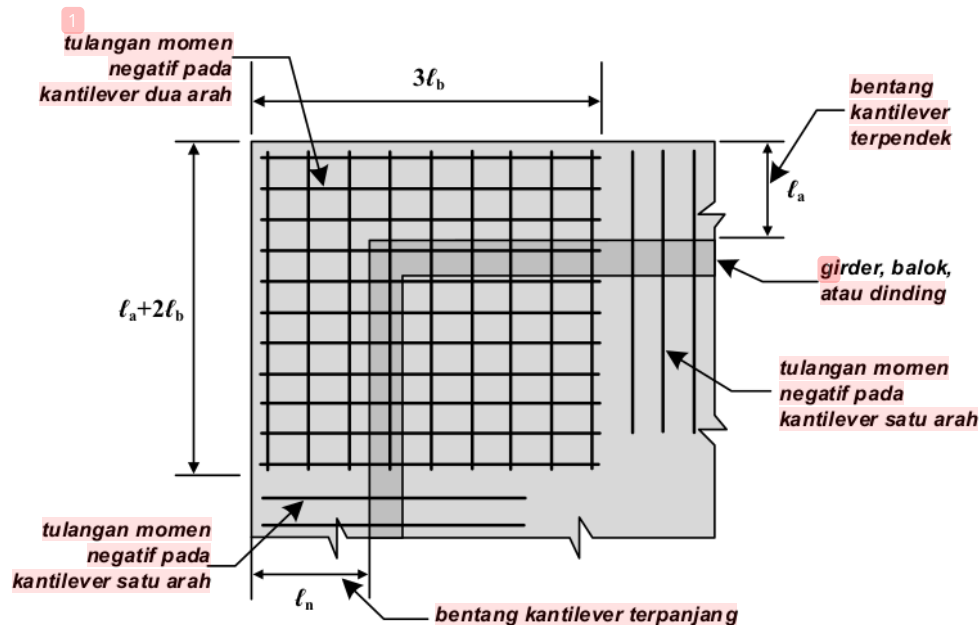


Gambar 7.6.3.1 – Tulangan untuk kantilever slab.

7.6.3.2 Tulangan momen positif — Tulangan momen positif harus paling sedikit $A_{s,min}$. Tulangan tersebut disediakan dalam arah kantilever untuk mengurangi lendutan yang tergantung waktu dan untuk memenuhi kekuatan momen perlu (Gambar 7.6.3.1).

7.6.3.3 Tulangan susut dan temperatur — Luas tulangan yang sejajar tepi kantilever tidak boleh kurang dari yang dibutuhkan untuk tulangan susut dan temperatur (Gambar 7.6.3.1).

7.6.3.4 Tulangan kantilever dua arah — Pada sudut di mana slab memiliki kantilever dalam dua arah, tulangan momen negatif harus berdasarkan kantilever yang terpanjang. Tulangan tersebut harus disediakan dalam kedua arah (Gambar 7.6.3.4). Panjang tulangan minimum, diukur dari sudut, sama dengan bentang bersih kantilever ditambah dua kali kantilever terpanjang, tetapi tidak kurang dari jarak yang diindikasikan untuk tulangan momen negatif bentang interior pertama ditambah kantilever tersebut. Tulangan momen positif seperti diindikasikan dalam 7.6.3.2 harus dipasang di kedua arah.



Gambar 7.6.3.4 – Tulangan momen negatif pada kantilever slab dua arah.

7.6.4 Kekuatan geser — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser perlu) per satuan lebar slab pada tumpuan kantilever harus dihitung dengan Persamaan (7.6.4), dengan ℓ_n adalah bentang bersih kantilever.

$$V_u = q_u \ell_n \quad (7.6.4)$$

Untuk kantilever dua arah, nilai V_u per satuan lebar slab harus diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dari Persamaan (7.6.4) untuk bentang kantilever terpanjang.

7.6.5 Perhitungan reaksi tumpuan — Reaksi pada tumpuan, r_u , harus ditentukan dari Pers. (7.6.5), dengan V_u adalah gaya geser per satuan lebar slab terfaktor dari 7.6.4, ℓ_s adalah bentang kantilever yang diukur dari pusat tumpuan, dan ℓ_n adalah bentang bersih kantilever.

$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_n} \quad (7.6.5)$$

Apabila terdapat kantilever dua arah, maka r_u ditentukan dari Persamaan (7.6.5) dengan V_u yang dihitung dari Persamaan (7.6.4) untuk bentang kantilever terpanjang tanpa faktor 2.

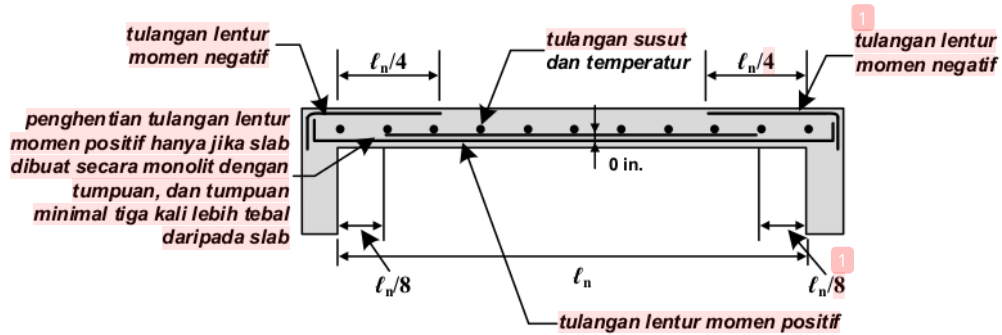
7.7 – Slab solid bentang tunggal satu arah yang membentang di antara girder, balok, atau dinding beton bertulang

7.7.1 Batasan dimensi — Slab solid bentang tunggal satu arah harus memenuhi tebal minimum pada 6.5.2. Slab-slab tersebut harus memenuhi bukan saja 7.7, melainkan juga batasan dimensi umum pada 1.3 dan batasan khusus pada 6.1.2 untuk sistem slab di atas girder. Saluran, lubang menerus, dan bukaan slab harus memenuhi 6.8.

7.7.2 Kekuatan momen perlu — Momen slab terfaktor positif dan negatif M_u (kekuatan momen perlu) harus dihitung dengan persamaan-persamaan dalam Tabel 7.7.2.

7.7.3 Tulangan lentur primer

7.7.3.1 Tulangan momen positif — Rasio tulangan momen positif p dalam arah bentang ℓ_n , harus berdasarkan M_u^+ yang ditentukan dari Persamaan (7.7.2a). Apabila slab monolit dengan tumpuan, dan tumpuan memiliki tinggi paling sedikit tiga kali tebal slab, sampai dengan setengah tulangan momen positif boleh dipotong pada jarak sebesar $\ell_n/8$ yang diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang tersebut (Gambar 7.7.3.1).



Gambar 7.7.3.1 – Tulangan untuk slab satu arah bentang tunggal.

7.7.3.2 Tulangan momen negatif — Rasio tulangan momen negatif p dalam arah bentang ℓ_n , harus berdasarkan M_u yang ditentukan dari Persamaan (7.7.2b). Semua tulangan momen negatif boleh dipotong pada jarak sebesar $\ell_n/4$ yang diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang tersebut. Lihat Gambar 7.7.3.1.

Tabel 7.7.2 – Kekuatan momen perlu untuk pelat bentang tunggal satu arah

Momen positif:	$M_u^+ = \frac{q_u \ell_n^2}{8}$	(7.7.2a)
Momen negatif di tumpuan:	$M_u = \frac{q_u \ell_n^2}{24}$	(7.7.2b)

7.7.3.3 Tulangan susut dan temperatur — Luas tulangan yang tegak lurus bentang tidak boleh kurang dari yang dibutuhkan untuk tulangan susut dan temperatur (Gambar 7.7.3.1)

7.7.4 Kekuatan geser — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser perlu) per satuan lebar slab untuk slab bentang-tunggal satu arah pada muka tumpuan dengan Persamaan (7.7.4), dengan ℓ_n adalah bentang bersih (Gambar 7.7.3.1).

$$V_u = \frac{q_u \ell_n}{2} \tag{7.7.4}$$

7.7.5 Perhitungan reaksi tumpuan — Reaksi slab pada tumpuan untuk slab bentang-tunggal satu arah, r_u , harus sebesar nilai yang ditentukan dari Persamaan (7.7.5) ditambah reaksi kantilever apabila ada. Dalam Persamaan (7.7.5), V_u adalah gaya geser per satuan lebar slab terfaktor dari 7.7.4, ℓ_s adalah bentang slab dari as ke as tumpuan, dan ℓ_n adalah bentang bersih slab.

$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_n} \tag{7.7.5}$$

7.8 – Slab solid satu arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang dengan dua bentang atau lebih

7.8.1 Batasan dimensi — Slab solid satu arah dengan dua bentang atau lebih harus memenuhi bukan hanya 7.8, melainkan juga tebal minimum pada 6.5.2, batasan dimensi umum pada 1.3 dan batasan khusus pada 6.1.2 untuk sistem slab di atas girder. Saluran, lubang menerus, dan bukaan slab harus memenuhi 6.8.

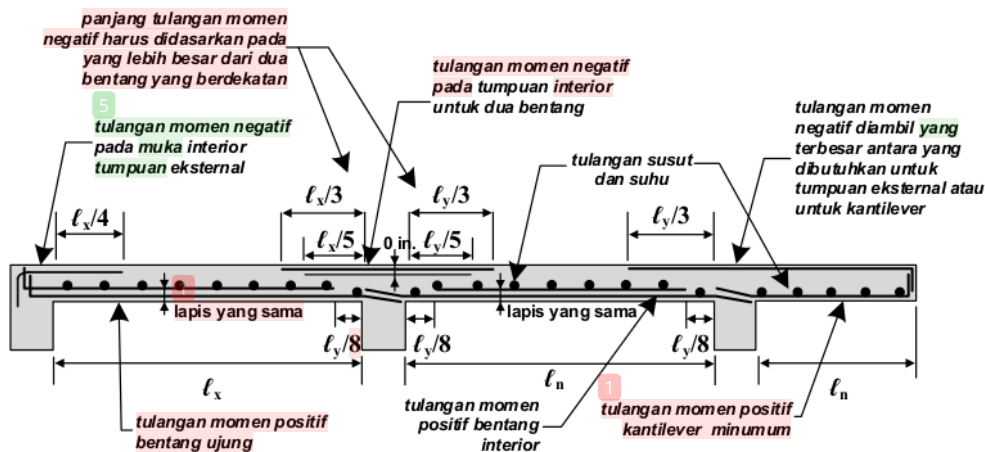
Batasan-batasan berikut harus dipenuhi untuk slab yang didesain dengan 7.8:

- Terdapat paling sedikit dua bentang
- Panjang bentang-bentang harus mendekati sama, dan panjang bentang yang lebih pendek di antara dua bentang bersebelahan tidak boleh kurang dari 80 persen panjang bentang yang lebih panjang (1.3)
- Beban-beban terdistribusi merata
- Beban hidup satuan q_f tidak melebihi tiga kali beban mati satuan q_d
- Untuk evaluasi momen negatif pada tumpuan internal, ℓ_n harus sesuai bentang terpanjang yang bersebelahan.

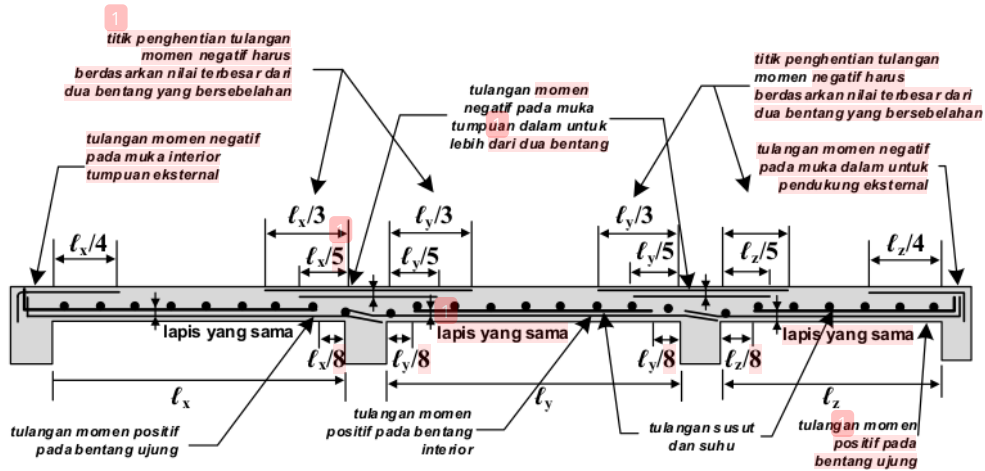
7.8.2 Kekuatan momen perlu — Momen positif dan negatif terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk slab harus dihitung dengan persamaan-persamaan dalam Tabel 7.8.2.

7.8.3 Tulangan lentur memanjang

7.8.3.1 Tulangan momen positif — Rasio tulangan momen positif ρ dalam arah bentang ℓ_n , harus berdasarkan M_u^+ yang ditentukan dari Persamaan (7.8.2a) atau Persamaan (7.8.2b). Pada tumpuan internal, pada jarak sebesar $\ell_n/8$ yang diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang tersebut sampai dengan setengah tulangan momen positif boleh dipotong (Gambar 7.8.3.1a dan 7.8.3.1b).



Gambar 7.8.3.1a – Tulangan untuk slab satu arah dua bentang yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang



Gambar 7.8.3.1b – Tulangan untuk slab satu arah yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang dengan tiga bentang atau lebih.

7.8.3.2 Tulangan momen negatif — Rasio tulangan momen negatif p dalam arah bentang l_n , harus berdasarkan M_u yang ditentukan dari Persamaan (7.8.2c) sampai dengan Persamaan (7.8.2f). Semua tulangan momen negatif boleh dipotong pada jarak sebesar $l_n/3$ dari tumpuan internal, dengan l_n harus sesuai dengan bentang bersebelahan yang terpanjang diukur dari muka tumpuan ke arah bentang. Karena momen negatif pada tumpuan interior menurun secara cepat, desainer boleh memberikan dua jarak pemotongan. Dalam kasus ini, jarak pemotongan pertama adalah $l_n/5$ diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang.

Pada tumpuan eksterior, semua tulangan momen negatif boleh dipotong (Gambar 7.8.3.1a dan 7.8.3.1b) pada jarak sebesar $l_n/4$ diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang.

1 Tabel 7.8.2 – Kekuatan momen perlu untuk pelat satu arah dengan dua bentang atau lebih

Momen positif pada	
Bentang ujung:	$M_u^+ = \frac{q_u \ell_n^2}{11}$ (7.8.2a)
Bentang interior:	$M_u^+ = \frac{q_u \ell_n^2}{16}$ (7.8.2b)
Momen negatif di tumpuan pada	
Muka interior tumpuan eksternal:	$M_u = \frac{q_u \ell_n^2}{24}$ (7.8.2c)
Muka eksterior tumpuan internal pertama, hanya dua bentang:	$M_u = \frac{q_u \ell_n^2}{9}$ (7.8.2d)
Muka tumpuan internal, lebih dari dua bentang:	$M_u = \frac{q_u \ell_n^2}{10}$ (7.8.2e)
Muka semua tumpuan untuk pelat dengan bentang tidak melebihi 10 ft (3 m):	$M_u = \frac{q_u \ell_n^2}{12}$ (7.8.2f)

7.8.3.3 Tulangan susut dan temperatur — Tulangan yang tegak lurus bentang tidak boleh kurang dari yang dibutuhkan untuk tulangan susut dan temperatur (Gambar 7.8.3.1a dan 7.8.3.1b).

7.8.4 Kekuatan geser — Gaya geser terfaktor V_u (kekuatan geser perlu) per satuan lebar slab harus dihitung pada muka tumpuan dengan persamaan-persamaan dalam Tabel 7.8.4, dengan ℓ_n adalah bentang bersih (Gambar 7.8.3.1a dan 7.8.3.1b). Kekuatan geser desain ϕV_n per satuan lebar slab harus dihitung pada muka tumpuan.

Tabel 7.8.4 – Kekuatan geser perlu untuk pelat satu arah dengan dua bentang atau lebih

Pada muka eksterior tumpuan interior pertama:	$V_u = 1,15 \frac{q_u \ell_n}{2}$ (7.8.4a)
Pada muka tumpuan lainnya:	$V_u = \frac{q_u \ell_n}{2}$ (7.8.4b)

7.8.5 Perhitungan reaksi tumpuan — Reaksi tumpuan slab r_u harus sebesar nilai yang ditentukan dari Persamaan (7.8.5) dengan V_u adalah gaya geser terfaktor (kekuatan geser perlu) per satuan lebar slab dari 7.8.4, ℓ_s adalah bentang slab dari as ke as tumpuan, dan ℓ_n adalah bentang bersih slab.

$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_n} \quad (7.8.5)$$

Reaksi tumpuan eksternal adalah sebesar reaksi bentang, r_u , yang ditentukan dari Pers. (7.8.5) pada tumpuan, ditambah reaksi kantilever, apabila ada. Reaksi tumpuan internal adalah jumlah

reaks-reaksi r_u , yang ditentukan dari Pers. (7.8.5) untuk kedua bentang bersebelahan pada tumpuan tersebut.

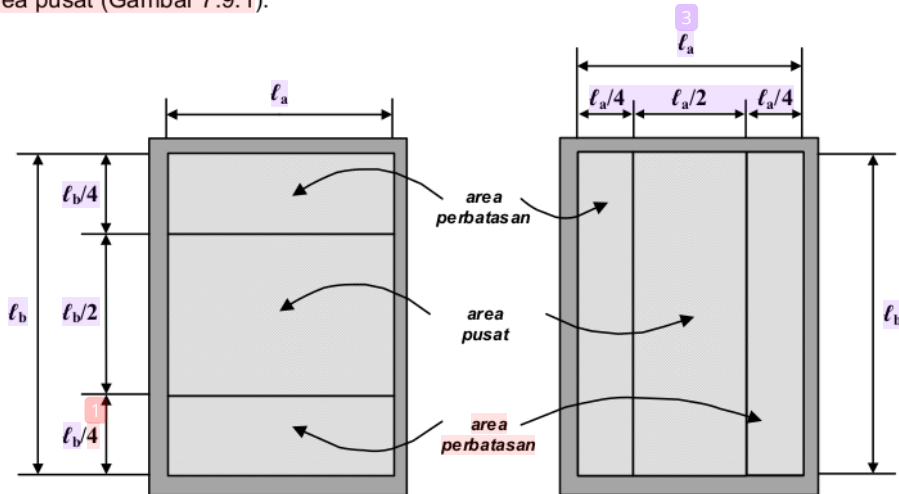
7.9 – Slab solid dua arah yang membentang di antara girder, balok, atau dinding beton bertulang

7.9.1 Batasan dimensi — Slab solid dua arah yang ditumpu di semua tepinya harus memenuhi tebal minimum pada 6.5.4. Slab dua arah harus memenuhi bukan hanya 7.9, melainkan juga batasan dimensi umum pada 1.3 dan batasan khusus pada 6.1.2 untuk sistem slab di atas girder. Saluran, lubang menerus, dan bukaan slab harus memenuhi 6.8.

Batasan-batasan berikut harus dipenuhi untuk menggunakan prosedur yang dijelaskan dalam 7.9:

- a) Terdapat paling sedikit dua bentang
- b) Panjang bentang-bentang harus mendekati sama, dan panjang bentang yang lebih pendek di antara dua bentang bersebelahan tidak boleh kurang dari 80 persen panjang bentang yang lebih panjang (1.3)
- c) Girder atau balok yang memikul harus monolit dengan slab dan harus memiliki tinggi total tidak kurang dari tiga kali tebal slab
- d) Slab dengan bukaan elevator dan inti tangga dianggap menerus apabila slab lantai dipikul oleh balok menerus di sekeliling bukaan, yang terintegrasi dengan dinding inti.
- e) Beban-beban terdistribusi merata
- f) Beban hidup satuan q_p tidak melebihi tiga kali beban mati satuan q_d

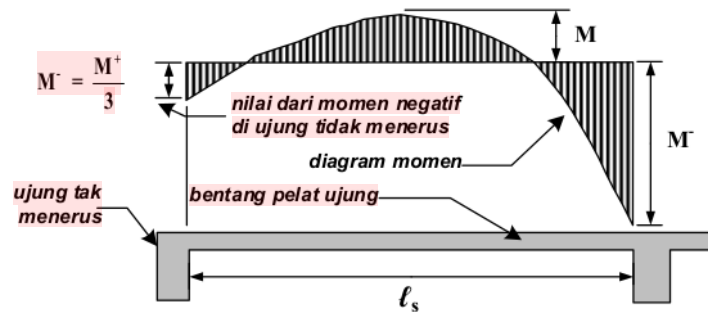
Panel slab harus dibagi, dalam semua arah, menjadi area pusat dan perbatasan. Area pusat harus setengah bagian tengah panel, dan area perbatasan harus dua, area seperempat di sebelah area pusat (Gambar 7.9.1).



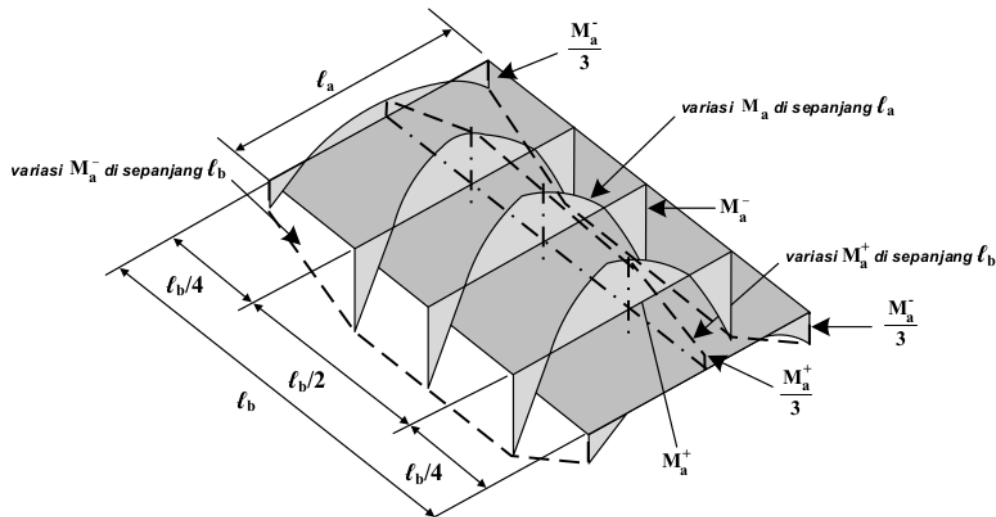
Gambar 7.9.1 – Area pusat dan perbatasan untuk slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

7.9.2 Kekuatan momen perlu — Momen positif dan negatif terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk slab solid dua arah harus dihitung menggunakan prosedur dalam pasal ini. Momen terfaktor positif dan negatif untuk area pusat panel di setiap arah harus dihitung dengan persamaan-persamaan dalam Tabel 7.9.2a untuk panel interior, dalam Tabel 7.9.2b untuk panel tepi dengan bentang terpendek di tepinya, dalam Tabel 7.9.2c untuk panel tepi dengan bentang terpanjang di tepinya, dan dalam Tabel 7.9.2d untuk panel sudut. Dalam setiap tabel, momen terfaktor harus ditentukan untuk rasio bentang bersih terpanjang terhadap bentang bersih terpendek yang sesuai, β , dan kondisi kontinuitas tepi yang sesuai. Momen negatif pada tepi tak diskontinu harus diambil sebesar sepertiga momen positif di arah yang sama (Gambar 7.9.2a).

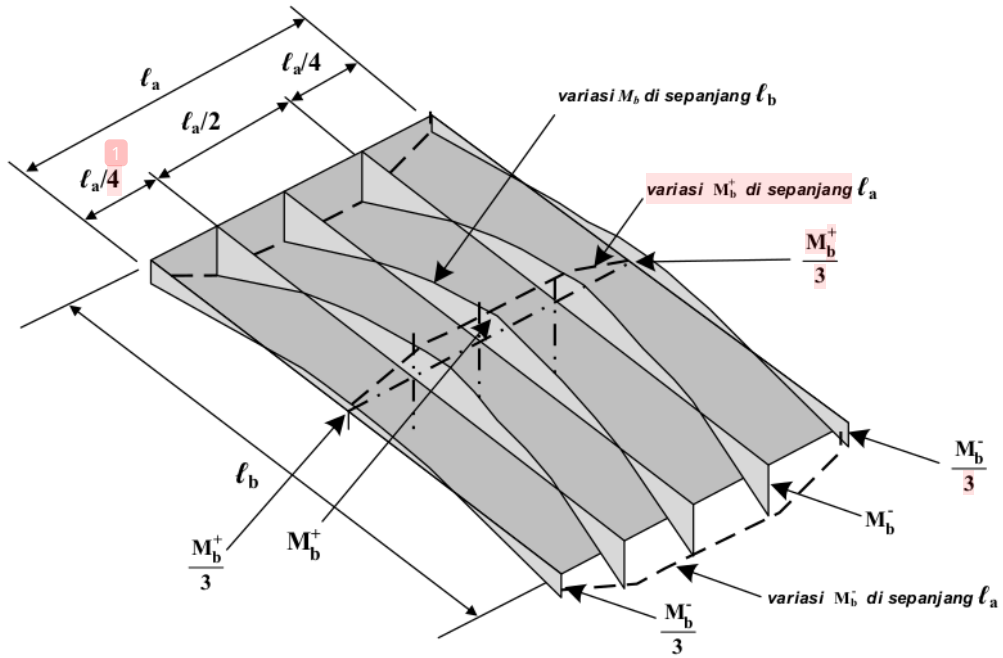
Nilai momen di perbatasan area pusat boleh diturunkan secara linier menjadi sepertiga nilai di area pusat pada panel tepi, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.9.2b untuk momen di arah terpendek dan dalam Gambar 7.9.2c untuk momen di arah terpendek.



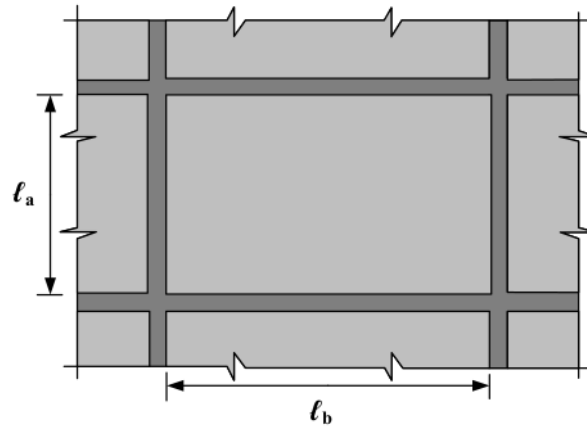
Gambar 7.9.2a – Momen negatif pada ujung tak menerus pada slab solid dua arah di atas girder.



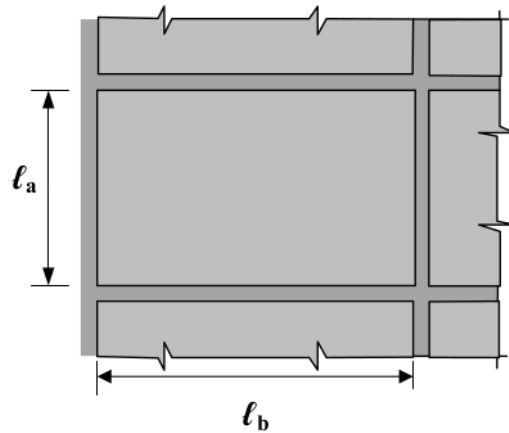
Gambar 7.9.2b – Variasi momen M_a di sepanjang lebar penampang kritis untuk desain, slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



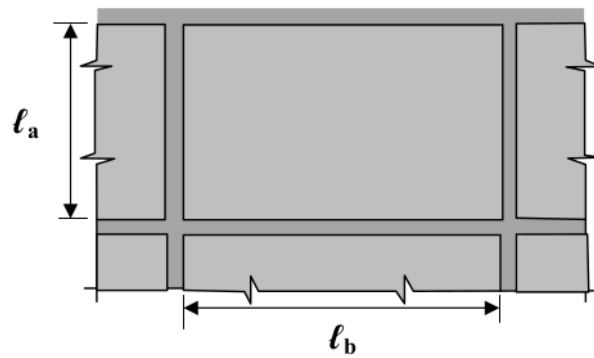
1 Gambar 7.9.2c – Variasi momen M_b di sepanjang lebar penampang kritis untuk desain, slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



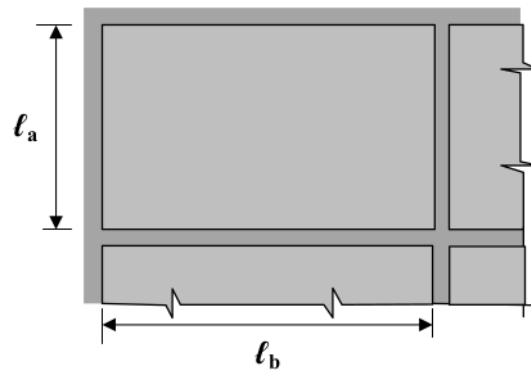
Gambar 7.9.2d – Panel interior pelat dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



Gambar 7.9.2e – Panel ujung dengan ℓ_a sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



Gambar 7.9.2f – Panel ujung dengan ℓ_b sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



Gambar 7.9.2g – Panel sudut slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

Tabel 7.9.2a – Panel interior pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2d)

$\beta = \ell_b/\ell_a$	Arah pendek, ℓ_a			Arah panjang, ℓ_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{22}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{42}$	$\alpha_a = 0,50$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{22}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{42}$	$\alpha_b = 0,50$
1,1	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{18}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{35}$	$\alpha_a = 0,60$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{25}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,40$
1,2	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{30}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{35}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{60}$	$\alpha_b = 0,33$
1,3	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{27}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{75}$	$\alpha_b = 0,26$
1,4	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{14}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{25}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,20$
1,5	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,84$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{65}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{120}$	$\alpha_b = 0,16$
1,6	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{22}$	$\alpha_a = 0,87$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{85}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{145}$	$\alpha_b = 0,13$
1,7	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{21}$	$\alpha_a = 0,90$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{110}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{180}$	$\alpha_b = 0,10$
1,8	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{135}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{225}$	$\alpha_b = 0,08$
1,9	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,93$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{160}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{275}$	$\alpha_b = 0,07$
2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{18}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{170}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{340}$	$\alpha_b = 0,06$
> 2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

1 Tabel 7.9.2b – Panel tepi dengan ℓ_a sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2e)

$\beta = \ell_b/\ell_a$	Arah pendek, ℓ_a			Arah panjang, ℓ_b		
	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{35}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{33}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{40}$	$\alpha_b = 0,33$
1,1	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{31}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{35}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,26$
1,2	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{14}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{28}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{65}$	$\alpha_b = 0,20$
1,3	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{25}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{70}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,15$
1,4	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{90}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{110}$	$\alpha_b = 0,12$
1,5	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{22}$	$\alpha_a = 0,91$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{115}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{135}$	$\alpha_b = 0,09$
1,6	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{21}$	$\alpha_a = 0,93$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{135}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{160}$	$\alpha_b = 0,07$
1,7	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{165}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{185}$	$\alpha_b = 0,06$
1,8	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,95$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{200}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{220}$	$\alpha_b = 0,05$
1,9	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,96$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{250}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{270}$	$\alpha_b = 0,04$
2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{18}$	$\alpha_a = 0,97$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{330}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{340}$	$\alpha_b = 0,03$
> 2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

1

Tabel 7.9.2c – Panel tepi dengan ℓ_b sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2f)

$\beta = \ell_b/\ell_a$	Arah pendek, ℓ_a			Arah panjang, ℓ_b		
	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{30}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{39}$	$\alpha_a = 0,33$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{16}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{35}$	$\alpha_b = 0,67$
1,1	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{23}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{32}$	$\alpha_a = 0,42$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{19}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{40}$	$\alpha_b = 0,58$
1,2	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{19}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{26}$	$\alpha_a = 0,51$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{22}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,49$
1,3	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{17}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,59$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{27}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{60}$	$\alpha_b = 0,41$
1,4	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,66$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{32}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{70}$	$\alpha_b = 0,34$
1,5	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,72$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,28$
1,6	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{17}$	$\alpha_a = 0,77$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,23$
1,7	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,81$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{60}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{125}$	$\alpha_b = 0,19$
1,8	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{70}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{150}$	$\alpha_b = 0,15$
1,9	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{85}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{175}$	$\alpha_b = 0,12$
2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{14}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{100}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{200}$	$\alpha_b = 0,08$
> 2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{9}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

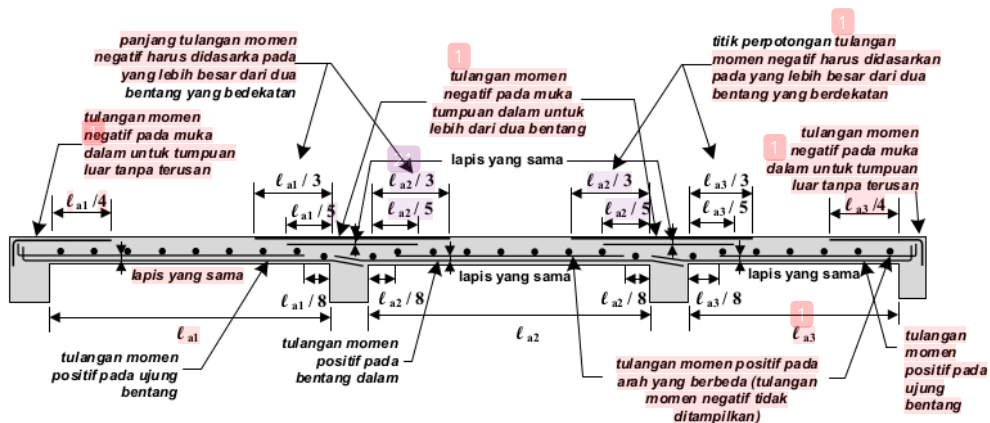
Tabel 7.9.2d – Panel sudut pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang (Gambar 7.9.2g)

$\beta = \ell_b / \ell_a$	Arah pendek, ℓ_a			Arah panjang, ℓ_b		
	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{31}$	$\alpha_a = 0,50$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{20}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{31}$	$\alpha_b = 0,50$
1,1	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{17}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{26}$	$\alpha_a = 0,59$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{25}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{38}$	$\alpha_b = 0,41$
1,2	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{30}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{45}$	$\alpha_b = 0,33$
1,3	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{55}$	$\alpha_b = 0,26$
1,4	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{70}$	$\alpha_b = 0,20$
1,5	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{17}$	$\alpha_a = 0,84$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{60}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,16$
1,6	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,87$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{75}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,13$
1,7	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,90$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{100}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{125}$	$\alpha_b = 0,10$
1,8	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{120}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{150}$	$\alpha_b = 0,08$
1,9	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{145}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{175}$	$\alpha_b = 0,06$
2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{14}$	$\alpha_a = 0,96$	$M_b = \frac{q_u \ell_b^2}{165}$	$M_b^+ = \frac{q_u \ell_b^2}{200}$	$\alpha_b = 0,04$
> 2,0	$M_a = \frac{q_u \ell_a^2}{9}$	$M_a^+ = \frac{q_u \ell_a^2}{11}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

7.9.3 Tulangan lentur memanjang

7.9.3.1 Tulangan momen positif — Dalam area pusat panel slab, tulangan momen positif harus berdasarkan momen positif terfaktor yang ditentukan dari persamaan-persamaan yang sesuai dalam Tabel 7.9.2a sampai 7.9.2d. Rasio baja momen positif p untuk tulangan sejajar bentang pendek ℓ_a atau bentang panjang ℓ_b harus ditentukan dengan nilai M_a^+ atau M_b^+ yang berhubungan. Sebanyak setengah tulangan momen positif di tengah bentang yang berhubungan boleh dipotong pada jarak $\ell_a/8$ atau $\ell_b/8$, diukur dari muka tumpuan interior manapun. Tulangan momen positif yang tegak lurus tepi tak menerus tidak boleh dipotong.

Tulangan momen positif di area perbatasan boleh dikurangi dari yang dibutuhkan pada area pusat menjadi sepertiga nilai di tepi panel, tetapi tidak kurang dari luas yang dibutuhkan untuk susut dan temperatur (Gambar 7.9.3.1).



Gambar 7.9.3.1 – Tulangan slab dua arah yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang.

7.9.3.2 Tulangan momen negatif — Pada tepi-tepi penyokong area pusat panel slab, luas tulangan momen negatif harus berdasarkan momen negatif terfaktor yang ditentukan dari persamaan yang sesuai dalam Tabel 7.9.2a sampai 7.9.2d. Rasio baja momen negatif p untuk tulangan sejajar bentang pendek ℓ_a atau bentang panjang ℓ_b harus ditentukan dengan nilai M_a^- atau M_b^- yang berhubungan. Diizinkan untuk memotong hingga setengah luas tulangan momen negatif pada tumpuan pada jarak $\ell_a/5$ atau $\ell_b/5$, diukur dari muka tumpuan interior manapun. Diizinkan untuk memotong semua tulangan momen negatif pada tumpuan bentang yang berhubungan pada jarak $\ell_a/3$ atau $\ell_b/3$, diukur dari muka tumpuan interior manapun. Diizinkan untuk mengurangi secara gradual luas tulangan momen negatif dari tepi area pusat hingga sepertiga nilai di tepi panel, tetapi tidak kurang dari luas yang dibutuhkan untuk susut dan temperatur (Gambar 7.9.3.1).

7.9.4 Kekuatan geser — Gaya geser terfaktor per satuan lebar slab V_u (kekuatan geser perlu), pada muka komponen struktur penyokong harus ditentukan dengan fraksi beban α_a dan α_b , yang membentang dalam arah pendek dan panjang berturut-turut, seperti diberikan dalam Tabel 7.9.2a sampai 7.9.2d untuk kondisi tepi panel yang berhubungan dan rasio bentang panel β (Gambar 7.9.4a). Kekuatan geser perlu tidak boleh kurang dari gaya geser yang disebabkan oleh beban desain terfaktor, q_u , yang bekerja pada luas tributari yang dibatasi garis-garis 45 derajat yang ditarik dari sudut dan garis tengah panel yang sejajar bentang panjang (Gambar 7.9.4b).

Gaya geser terfaktor per satuan lebar slab, V_u , tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan dari Pers. (7.9.4a) untuk komponen struktur penyokong bentang pendek dan dari Pers. (7.9.4b) untuk komponen struktur penyokong bentang panjang.

$$V_u = \frac{\alpha_b q_u \ell_b}{2} \geq \frac{q_u \ell_a}{4} \quad (7.9.4a)$$

$$V_u = \frac{\alpha_a q_u \ell_a}{2} \geq q_u \left[\frac{\ell_a}{2} - \frac{\ell_a^2}{4\ell_b} \right] \quad (7.9.4b)$$

Dalam menentukan kekuatan geser desain ϕV_n , tebal efektif slab yang lebih besar dari atau sama dengan nilai terbesar dari Pers. (7.9.4c), Pers. (7.9.4d), dan Pers. (7.9.4e) harus digunakan.

$$d \geq \frac{q_u \alpha_a \ell_a}{\phi 4 \sqrt{f'_c}} \quad (7.9.4c)$$

$$\left[d \geq \frac{3q_u \alpha_a \ell_a}{\phi \sqrt{f'_c}} \quad (\text{SI}) \right]$$

$$d \geq \frac{q_u \alpha_b \ell_b}{\phi 4 \sqrt{f'_c}} \quad (7.9.4d)$$

$$\left[d \geq \frac{3q_u \alpha_b \ell_b}{\phi \sqrt{f'_c}} \quad (\text{SI}) \right]$$

$$d \geq \frac{q_u \ell_a}{\phi 8 \sqrt{f'_c}} \quad (7.9.4e)$$

$$\left[d \geq \frac{3q_u \ell_a}{\phi 2 \sqrt{f'_c}} \quad (\text{SI}) \right]$$

Dalam Persamaan (7.9.4c) sampai dengan Persamaan (7.9.4e), $\phi = 0,75$.

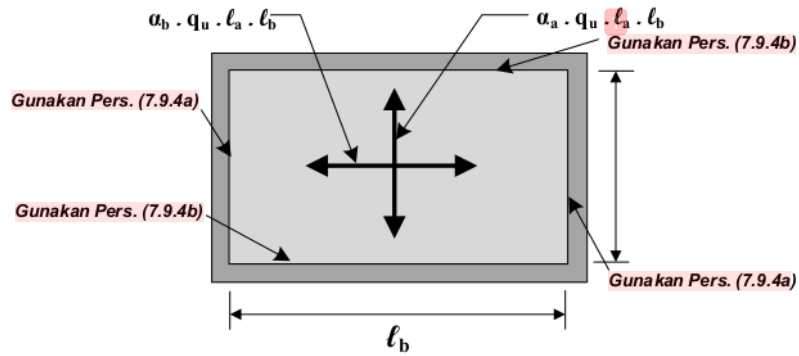
7.9.5 Perhitungan reaksi tumpuan – Reaksi tumpuan panel manapun pada slab dua arah, r_u , dalam arah pendek harus ditentukan dari Pers. (7.9.5a) dan dalam arah panjang harus ditentukan dari Pers. (7.9.5b).

$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_a} \quad (7.9.5a)$$

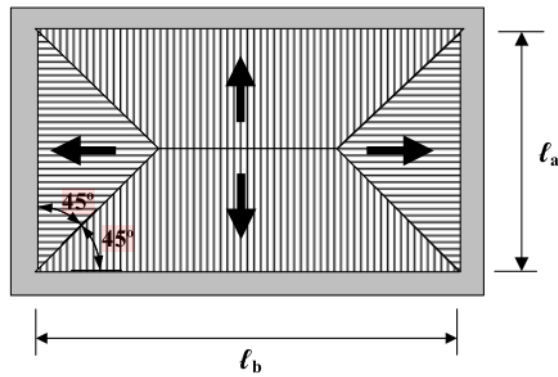
$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_b} \quad (7.9.5b)$$

Dalam Persamaan (7.9.5a) dan Persamaan (7.9.5b), V_u adalah gaya geser terfaktor dari Persamaan (7.9.4a) dan Persamaan (7.9.4b); ℓ_s adalah panjang bentang as ke as dalam arah tersebut; dan ℓ_a dan ℓ_b adalah bentang bersih terkait.

Reaksi pada tumpuan eksternal panel tepi harus sama dengan nilai dari panel r_u pada tumpuan tepi, yang ditentukan dari Persamaan (7.9.5a) atau Persamaan (7.9.5b), ditambah reaksi kantilever, apabila ada. Reaksi tumpuan internal harus merupakan jumlah reaksi-reaksi r_u , yang ditentukan dengan salah satu dari Persamaan (7.9.5a) atau Persamaan (7.9.5b), untuk bentang-bentang bersebelahan pada tumpuan tersebut.



Gambar 7.9.4a – Fraksi beban total dalam panel yang bekerja dalam setiap arah dalam slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.



1 Gambar 7.9.4b – Luas tributari untuk gaya geser minimum pada tumpuan slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

1 BAB 8 – GIRDER, BALOK, DAN JOIST

8.1 – Umum

8.1.1 Lingkup — Girder, balok, dan joist harus didesain menurut Bab 8. Pasal ini berlaku untuk balok terisolasi, girder, balok, dan joist yang merupakan bagian dari sistem lantai dan girder yang merupakan bagian dari rangka penahan momen yang ditumpu oleh kolom atau dinding struktural beton. Balok fondasi harus didesain mengikuti Bab 14.

8.1.2 Penggunaan analisis rangka — Analisis rangka yang memenuhi (a) hingga (h) boleh digunakan untuk mendapatkan momen dan gaya geser terfaktor sebagai pengganti nilai-nilai yang disyaratkan dalam Bab 8.

- a) Prosedur analisis harus berdasarkan prinsip-prinsip mekanika struktur yang aman.
- b) Prosedur harus memperhitungkan keseimbangan, kompatibilitas deformasi, stabilitas umum, dan properti material jangka pendek dan panjang.
- c) Prosedur analisis harus memperhitungkan fleksibilitas tumpuan dan interaksi antara lentur dan torsi komponen struktur yang dipikul dan yang memikul.
- d) Modulus elastisitas beton harus diambil sebesar $E_c = 57.000\sqrt{f'_c}$ (psi) ($E_c = 4.700\sqrt{f'_c}$ [MPa]).
- e) Modulus elastisitas baja tulangan harus diambil sebesar $E_s = 29.000.000$ psi ($E_s = 200.000$ MPa).
- f) Asumsi logis harus digunakan untuk menghitung kekakuan lentur dan torsi relatif komponen struktur. Asumsi yang diadopsi tersebut harus konsisten dipakai di seluruh analisis.
- g) Panjang bentang harus diambil sebagai jarak as ke as tumpuan, tetapi momen dan gaya geser dapat diperoleh pada muka tumpuan.
- h) Pengaturan beban hidup boleh dibatasi dengan kombinasi beban yang terdiri dari beban mati terfaktor di semua bentang dengan beban hidup terfaktor penuh di dua bentang bersebelahan dan beban mati di semua bentang dengan beban hidup terfaktor penuh di bentang-bentang secara berseling.

8.2 – Beban

8.2.1 Beban yang harus diperhitungkan — Beban untuk girder, balok, dan joist harus diambil dari Pasal 4. Beban gravitasi harus merupakan jumlah reaksi komponen struktur yang dipikul dan beban yang bekerja langsung pada komponen struktur tersebut. Beban lateral harus sesuai dengan Pasal 4.

8.2.1.1 Reaksi — Reaksi gravitasi dari komponen struktur yang dipikul harus memperhitungkan:

- a) Beban mati, termasuk berat sendiri komponen struktur yang didukung, beban dari elemen nonstruktural horizontal dan vertikal, dan beban dari semua peralatan tetap yang dipikul oleh komponen struktur yang didukung tersebut.
- b) Beban hidup yang bekerja pada komponen struktur yang dipikul.

8.2.1.2 Beban komponen struktur — Beban yang dipikul langsung oleh balok, girder, atau joist harus termasuk:

- a) Beban mati, termasuk berat sendiri komponen struktur, beban dari elemen nonstruktural yang horizontal dan vertikal, dan beban dari peralatan tetap yang diterapkan langsung pada komponen struktur tersebut.
- b) Beban hidup yang bekerja pada komponen struktur tersebut.

1

8.2.2 *Beban mati dan beban hidup yang dipikul komponen struktur*

8.2.2.1 *Beban terdistribusi merata* — Yang berikut ini harus digunakan untuk mendapatkan nilai w_d untuk beban mati dan w_ℓ untuk beban hidup:

- a) w_d harus termasuk berat sendiri per satuan panjang komponen struktur.
- b) w_d harus termasuk berat elemen nonstruktural yang horizontal dan vertikal yang dipikul langsung, seperti dijelaskan dalam 4.5.3, per satuan panjang komponen struktur
- c) Untuk girder, balok, atau joist yang berada di tepi slab lantai, w_d harus termasuk beban dari berat fasad dan elemen penutup gedung, seperti diindikasikan oleh 4.5.3.2.
- d) w_ℓ harus termasuk beban hidup yang bekerja secara langsung pada komponen struktur, seperti diindikasikan oleh 4.6.
- e) Untuk komponen struktur atap, beban hidup atap yang bekerja langsung yang ditentukan dalam 4.7, beban hujan dalam 4.8, dan beban salju dalam 4.9 harus dimasukkan yang sesuai.

8.2.2.2 *Beban terpusat* — Yang berikut ini harus digunakan untuk mendapatkan nilai p_d untuk beban mati dan p_ℓ untuk beban hidup untuk semua lokasi di mana beban terpusat diterapkan pada komponen struktur:

- a) p_d harus termasuk beban terpusat yang dihasilkan dari berat elemen nonstruktural yang horizontal dan vertikal yang dipikul langsung oleh komponen struktur, seperti dijelaskan dalam 4.5.3.
- b) Untuk girder, balok, atau joist yang terletak di tepi slab lantai, p_d harus termasuk beban terpusat dari berat elemen fasad dan penutup gedung.
- c) p_ℓ harus termasuk beban hidup terpusat apapun yang diterapkan secara langsung pada komponen struktur.

8.2.3 *Beban terfaktor*

8.2.3.1 *Reaksi terfaktor*

- (a) Untuk reaksi terdistribusi merata yang dipikul oleh komponen struktur, nilai terbesar r_u harus ditentukan
- (b) Untuk beban terpusat yang dipikul oleh komponen struktur, nilai terbesar R_u harus ditentukan untuk semua lokasi beban terpusat

8.2.3.2 *Beban komponen struktur terfaktor*

- (a) Untuk beban terdistribusi merata yang dipikul secara langsung oleh komponen struktur, w_u harus merupakan nilai terbesar yang ditentukan dengan mengkombinasikan w_d dan w_ℓ menggunakan faktor beban dan kombinasi beban yang ditetapkan dalam 4.2.
- (b) Untuk semua beban terpusat yang dipikul secara langsung oleh komponen struktur, p_u harus merupakan nilai terbesar yang ditentukan dengan mengkombinasikan p_d dan p_ℓ menggunakan faktor beban dan kombinasi beban yang ditetapkan dalam 4.2 untuk masing-masing beban terpusat.

8.2.3.3 *Beban total terfaktor*

- (a) Beban total terdistribusi merata terfaktor w_u harus merupakan jumlah dari w_u , yang ditentukan dari 8.2.3.1, dan r_u , yang ditentukan dari 8.2.3.2.
- (b) Beban total terpusat terfaktor P_u harus merupakan jumlah dari p_u , yang ditentukan dari 8.2.3.1, dan R_u , yang ditentukan dari 8.2.3.2.

8.3 – Jenis tulangan

8.3.1 Umum — Tulangan girder, balok, dan joist harus sesuai dengan Bab 8 dan harus dibagi menjadi tulangan longitudinal dan transversal. Tulangan longitudinal dan transversal dalam girder, balok, dan joist memiliki penerapan yang tertera di Tabel 8.3.1a dan 8.3.1b dan harus sesuai dengan pasal-pasal yang tercantum. Gambar 8.3.1 mengilustrasikan tipe-tipe dasar tulangan.

*tulangan lentur longitudinal
momen negatif*

*tulangan
transversal*

*tulangan lentur
longitudinal momen positif*

Gambar 8.3.1 – Jenis-jenis tulangan utama untuk girder, balok, dan joist.

Tabel 8.3.1a – Tipe tulangan longitudinal dalam girder, balok, dan joist

Tulangan longitudinal	Lentur	Tulangan momen positif	Pasal 8.4.14
		Tulangan momen negatif	Pasal 8.4.15
		Integritas struktur	Pasal 6.3
	Lainnya	Tulangan samping	Pasal 8.4.12
		Tulangan untuk tumpuan sengkang	Pasal 8.4.15.6
		Tulangan sayap balok-T	Pasal 8.4.11
		Tulangan torsi longitudinal	Pasal 5.13.6

Tabel 8.3.1b – Tipe tulangan transversal dalam girder, balok, dan joist

Tulangan transversal	Sengkang	Tulangan geser	Pasal 8.5.4
		Tumpuan transversal tulangan tekan	Pasal 8.4.9.5
		Tulangan penggantung	Pasal 8.5.5
		Tulangan torsi transversal	Pasal 5.13.6
	Hoop	Pengekang dalam zona seismik	Pasal 11.1.2.3

8.3.2 Seismik — Dalam girder dan balok yang ditumpu langsung pada kolom dan dinding beton bertulang yang merupakan bagian dari rangka penahan momen dalam suatu sistem ganda yang berlokasi di zona seismik, tulangan harus sesuai Bab 11. Joist dan balok yang bukan merupakan bagian dari suatu portal tidak perlu memenuhi Bab 11.

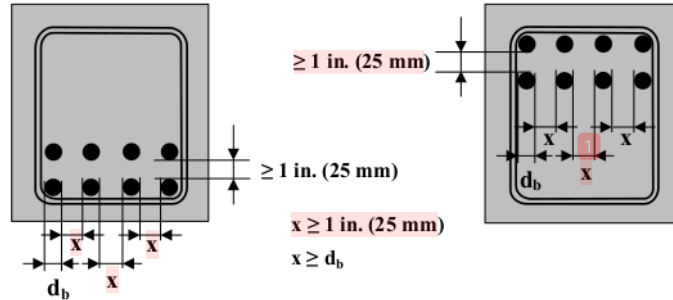
8.3.3 Torsi — Jika girder dan balok mengalami momen torsi, jumlah tulangan transversal minimum seperti ditetapkan dalam 5.13.6 harus disediakan.

8.4 – Tulangan longitudinal

8.4.1 Umum — Pasal 8.4 harus berlaku untuk semua jenis tulangan longitudinal yang digunakan dalam girder, balok, dan joist.

8.4.2 Spasi minimum

8.4.2.1 Tulangan longitudinal dalam satu lapis — Dalam girder, balok, dan joist, spasi bersih minimum antara tulangan-tulangan sejajar dalam satu lapis harus sebesar diameter tulangan nominal d_b yang terbesar tetapi tidak kurang dari 1 in. (25 mm) (Gambar 8.4.2.1). Batasan jarak bersih antar tulangan harus berlaku juga pada jarak bersih antara sambungan lewatan kontak dan sambungan atau tulangan terdekat.



Gambar 8.4.2.1 – Spasi bersih minimum antara tulangan-tulangan dalam satu lapis dan jarak bersih antara lapisan-lapisan tulangan.

8.4.2.2 Lapis sejajar — Dalam girder, balok, dan joist di mana tulangan longitudinal ditempatkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan dalam lapis teratas harus ditempatkan langsung di atas tulangan dalam lapis bawah dengan jarak bersih antar lapis paling sedikit 1 in. (25 mm).

8.4.3 Jumlah tulangan maksimum dalam satu lapis — Jumlah tulangan longitudinal maksimum dalam satu lapis harus dihitung dengan memperhitungkan diameter tulangan longitudinal dan transversal, selimut beton (5.4), ukuran agregat kasar maksimum, dan spasi bersih antar tulangan minimum (8.4.2). Jika perhitungan tidak dilakukan, 8.4.3.1 dan 8.4.3.3 boleh digunakan.

8.4.3.1 Girder dan balok dengan $b_w \geq 12$ in. (300 mm) — Untuk girder dan balok dengan lebar b_w sama dengan atau lebih besar dari 12 in. (300 mm), jumlah tulangan maksimum dalam satu lapis harus ditentukan menggunakan Persamaan (8.4.3.1) (Tabel 8.4.3.1).

Jumlah tulangan maksimum dalam satu lapis

$$\leq \frac{b_w}{2} - 3 \quad \left[\leq \frac{b_w}{50} - 3 \text{ (SI)} \right] \quad (8.4.3.1)$$

dengan b_w dalam inches (mm).

Tabel 8.4.3.1 – Jumlah tulangan longitudinal maksimum dalam satu lapis untuk girder dan balok

Balok atau girder dengan lebar badan b_w , in. (mm)	Jumlah tulangan longitudinal maksimum
$b_w < 8$ in. (200 mm)	Tidak diizinkan
8 in. (200 mm) $\leq b_w < 10$ in. (250 mm)	Dua tulangan
10 in. (250 mm) $\leq b_w < 12$ in. (300 mm)	Tiga tulangan
12 in. (300 mm) $\leq b_w$	$\leq \frac{b_w}{2} - 3$ $\left[\leq \frac{b_w}{50} - 3 \text{ (SI)} \right]$ tulangan

8.4.3.2 Girder dan balok dengan $b_w < 12$ in. (300 mm) — Sampai dengan tiga tulangan longitudinal boleh digunakan untuk girder dan balok dengan lebar b_w sama dengan atau lebih besar dari 10 in. (250 mm) dan kurang dari 12 in. (300 mm). Dua tulangan longitudinal harus digunakan untuk b_w kurang dari 10 in. (250 mm). (Tabel 8.4.3.1).

8.4.3.3 Joist — Dalam joist dengan lebar b_w kurang dari atau sama dengan 6 in. (150 mm), salah satu dari satu tulangan atau ikatan dua-tulangan yang menempel, dengan posisi satu di atas yang lainnya, diizinkan. Untuk lebar badan lebih besar dari 6 in. (250 mm) dan kurang dari 8 in. (200 mm), salah satu dari satu tulangan longitudinal atau dua tulangan dalam satu lapis diizinkan, tetapi pengikatan tulangan tidak diizinkan. Untuk lebar badan sama dengan atau lebih besar dari 8 in. (200 mm), jumlah tulangan maksimum dalam satu lapis harus satu lebih banyak dari yang diizinkan untuk yang di Tabel 8.4.3.1.

8.4.4 Reduksi jumlah dan lebar retak lentur — Untuk meminimumkan jumlah dan lebar retak lentur pada titik momen maksimum, strategi ganda harus dilakukan berdasarkan jumlah tulangan longitudinal minimum yang digunakan dan membatasi spasi maksimum antar tulangan tersebut. Untuk melakukan strategi tersebut dan mereduksi jumlah dan lebar retak lentur, 8.4.4.1 sampai 8.4.4.3 harus dipenuhi pada penampang dengan momen positif dan negatif maksimum.

8.4.4.1 Jumlah tulangan minimum dalam satu lapis — Sejumlah besar tulangan diameter-kecil harus disediakan daripada sedikit tulangan diameter-besar. Untuk joist, jumlah tulangan longitudinal minimum adalah satu. Untuk girder dan balok dengan b_w kurang dari 12 in. (300 mm), jumlah tulangan longitudinal minimum adalah dua. Untuk girder dan balok dengan b_w sama dengan atau lebih dari 12 in. (300 mm), spasi maksimum batang sesuai 8.4.4.2 atau 8.4.4.3 harus dipenuhi.

8.4.4.2 Spasi antar tulangan maksimum pada eksposur eksterior — Spasi antar tulangan longitudinal maksimum dalam satu lapis untuk girder dan balok yang terpapar terhadap bumi atau cuaca harus 8 in. (200 mm).

8.4.4.3 Spasi antar tulangan maksimum pada eksposur interior — Spasi antar tulangan longitudinal maksimum dalam satu lapis untuk girder dan balok yang tidak terpapar terhadap bumi atau cuaca harus 10 in. (250 mm).

8.4.5 Luas tulangan tarik lentur minimum — Jika Bab 8 mengindikasikan bahwa tulangan tarik lentur dibutuhkan, $A_{s,min}$ harus dihitung dengan (a) atau (b), dengan ρ_{min} adalah nilai yang diberikan dalam Tabel 8.4.5:

(a) Untuk penampang persegi panjang dan untuk penampang berbentuk T dengan sayap dalam kondisi tertekan (Gambar 8.4.5a)

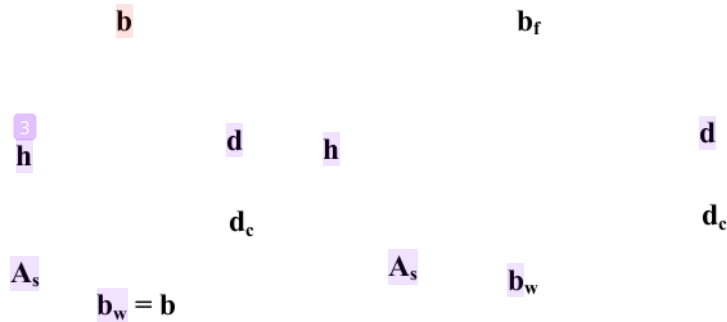
$$A_{s,min} = \rho_{min} db_w \quad (8.4.5a)$$

(b) Untuk kantilever dengan penampang berbentuk-T dengan sayap dalam kondisi tertarik (Gambar 8.4.5b), $A_{s,min}$ harus yang terkecil dari nilai yang dihitung dari Persamaan (8.4.5b) dan Persamaan (8.4.5c)

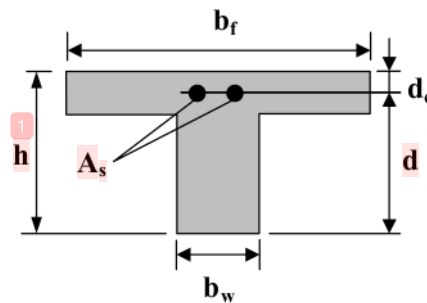
$$A_{s,min} = 2\rho_{min} db_w \quad (8.4.5b)$$

$$A_{s,min} = \rho_{min} db_f \tag{8.4.5c}$$

1 Mengacu pada Pasal 8.4.10 untuk perhitungan b_f untuk penampang T.



1 Gambar 8.4.5a – Penampang persegi dan penampang T dengan sayap dalam kondisi tekan.



Gambar 8.4.5b – Penampang T dengan sayap dalam kondisi tarik.

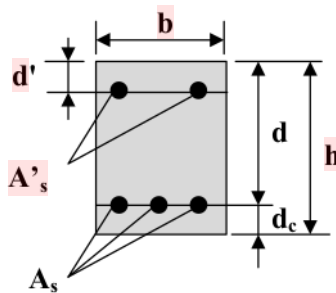
8.4.6 Luas tulangan tarik lentur maksimum — Rasio tulangan tarik lentur maksimum ρ harus dihitung dengan (a) atau (b), dan tidak melebihi nilai ρ_{max} yang diberikan dalam Tabel 8.4.6:

(a) Dalam girder, balok, dan joist yang hanya memiliki tulangan tarik lentur

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \leq \rho_{max} \tag{8.4.6a}$$

(b) Dalam girder, balok, dan joist yang memiliki tulangan tarik dan tekan lentur (Gambar 8.4.6)

$$\rho - \rho' = \frac{A_s - A'_s}{bd} \leq \rho_{max} \tag{8.4.6b}$$



1 Gambar 8.4.6 – Penampang dengan tulangan tarik dan tekan.

Tabel 8.4.6 – Rasio tulangan lentur maksimum ρ_{max} untuk girder dan balok

		$f_y, *$ psi (MPa)	
		40.000 (280)	60.000 (420)
$f_c',$ psi (MPa)	3.000 (21)	0,0280	0,0160
	3.500 (24)	0,0325	0,0190
	4.000 (28)	0,0370	0,0210
	4.500 (31)	0,0400	0,0230
	5.000 (35)	0,0435	0,0250

* Interpolasi untuk nilai f_y dan f_c' yang berbeda diizinkan

8.4.7 Kekuatan momen desain minimum — Kekuatan momen desain penampang ϕM_n harus sama dengan atau lebih besar dari kekuatan momen perlu M_u .

$$\phi M_n \geq M_u \quad (8.4.7)$$

8.4.8 Kekuatan momen desain untuk penampang persegi panjang dengan tulangan tarik saja

8.4.8.1 Kekuatan momen desain — Untuk girder, balok, dan joist, kekuatan momen desain dari Persamaan (5.11.4.2) harus digunakan.

8.4.8.2 Luas tulangan tarik lentur — Rasio tulangan tarik lentur, $\rho = A_s/bd$, harus ditentukan dari Persamaan (5.11.4.4) (Gambar 8.4.8.2). Jika ρ lebih kecil dari ρ_{min} , sebagaimana ditentukan dalam 8.4.5, A_s harus diperbesar. Jika ρ lebih besar dari ρ_{max} , sebagaimana ditentukan dalam 8.4.6, dimensi komponen struktur harus diperbesar, sehingga koreksi terhadap berat sendiri perlu dilakukan, atau penggunaan tulangan tekan harus dicoba.

Catatan untuk penggunaan satuan inch-pound: momen yang dihitung umumnya dalam satuan lb.ft karena ditentukan dari beban terpusat dalam lb, beban terdistribusi dalam lb/ft, dan bentang dalam ft. Satuan tersebut harus dikonversi menjadi lb.in (12 lb.in = 1 lb.ft), untuk penggunaan f_y dalam psi, d dan b dalam inches, dan A_s dalam in.²

Catatan untuk penggunaan satuan SI: momen yang dihitung umumnya dalam satuan kN.m karena ditentukan dari beban terpusat dalam kN, beban terdistribusi dalam kN/m, dan bentang dalam m. Satuan tersebut harus dikonversi menjadi N.mm (1 kN.m = 10⁶ N.mm), untuk penggunaan f_y dalam MPa (1 MPa = 1 N/mm²), d dan b dalam mm, dan A_s dalam mm².



Gambar 8.4.8.2 – Dimensi desain untuk kekuatan momen: dengan tulangan tarik saja.

8.4.9 Tulangan tekan dalam girder, balok, dan joist

8.4.9.1 Tulangan tarik yang kurang dari maksimum — Untuk perhitungan kekuatan momen, tulangan tekan tidak diperlukan jika rasio tulangan tarik ρ kurang dari ρ_{max} .

8.4.9.2 Penampang bertulangan ganda pendek — Untuk perhitungan kekuatan momen, tulangan tekan tidak diperlukan jika rasio d/d' kurang dari nilai yang diberikan dalam Tabel 8.4.9.2.

Tabel 8.4.9.2 – Nilai d/d' minimum untuk tulangan tekan agar efektif

f_y , psi (MPa)	40.000 (280)	60.000 (420)
$d/d' \geq$	4	7

8.4.9.3 Kekuatan momen desain dengan tulangan tekan — Untuk perhitungan kekuatan momen dengan tulangan tekan, gunakan Persamaan (8.4.9.3) (Gambar 8.4.9.3)

$$\phi M_n = \phi [0,85(A_s - A'_s)f_y d + A'_s f_y (d - d')] \quad (8.4.9.3)$$

dengan $\phi = 0,90$.

Persamaan (8.4.9.3) mengasumsikan tulangan tekan leleh, hal ini harus diverifikasi.



Gambar 8.4.9.3 – Dimensi desain untuk kekuatan momen: penampang dengan tulangan tekan.

8.4.9.4 Luas tulangan tarik dan tekan akibat lentur — Luas tulangan tarik, A_s , dan tulangan tekan, A'_s , harus dihitung menggunakan M_u sebagai berikut

$$A'_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - d')} - \frac{0,85 \rho_{max} b d^2}{(d - d')} \quad (8.4.9.4a)$$

$$A_s = A'_s + \rho_{max} b d \quad (8.4.9.4b)$$

Rasio ρ_{max} harus ditentukan dari 8.4.6 jika d/d' minimum dipenuhi. Setelah tulangan dipilih, ρ_{max} dalam Persamaan (8.4.6b), harus diperiksa.

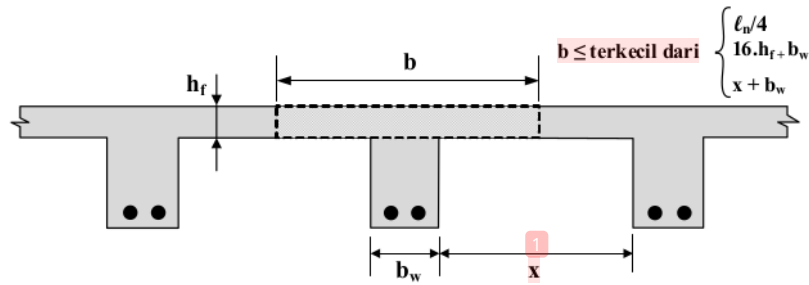
8.4.9.5 Luas transversal jika ada tulangan tekan akibat lentur — Tulangan tekan akibat lentur memanjang harus dilingkupi pengikat atau sengkang yang memenuhi batasan ukuran dan spasi untuk pengikat kolom dalam 10.4.3.2. Pengikat atau sengkang tersebut harus disediakan sepanjang jarak di mana tulangan tekan diperlukan.

8.4.10 Efek balok T — Jika suatu balok monolit dengan slab dan suatu momen menginduksi gaya tekan pada slab, slab tersebut harus diasumsikan sebagai sayap balok, dan desainnya harus sesuai 8.4.10.1 sampai 8.4.10.5.

8.4.10.1 Lebar sayap efektif untuk balok dengan slab di kedua sisinya — lebar sayap efektif b tidak boleh melebihi nilai terkecil dari (a), (b), dan (c) (Gambar 8.4.10.1):

- (a) Seperempat panjang bentang balok
- (b) Enam belas kali tebal slab h_f ditambah tebal badan b_w

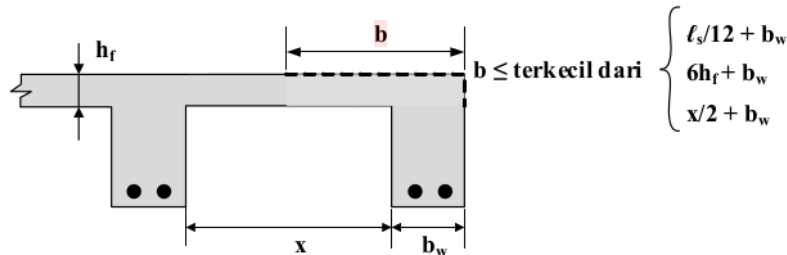
(c) Jarak bersih antara badan-badan ditambah tebal badan b_w



Gambar 8.4.10.1 – Lebar sayap efektif untuk balok T dengan pelat di kedua sisinya.

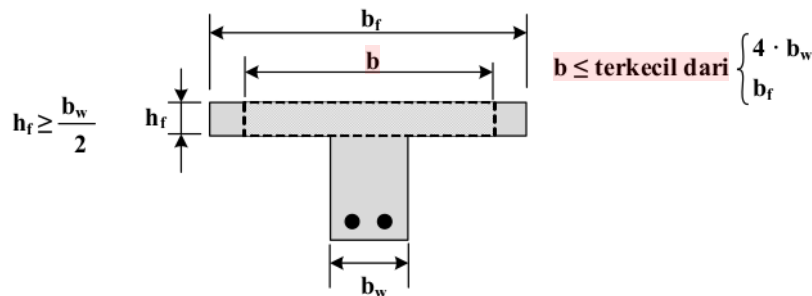
8.4.10.2 Lebar sayap efektif untuk balok dengan slab di satu sisinya — Lebar sayap efektif b tidak boleh melebihi nilai terkecil dari (a), (b), dan (c) (Gambar 8.4.10.2):

- (a) Seperduabelas panjang bentang balok ditambah tebal badan b_w
- (b) Enam kali tebal slab h_f ditambah tebal badan b_w
- (c) Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya ditambah tebal badan b_w



Gambar 8.4.10.2 – Lebar sayap efektif untuk balok T dengan pelat hanya di satu sisi.

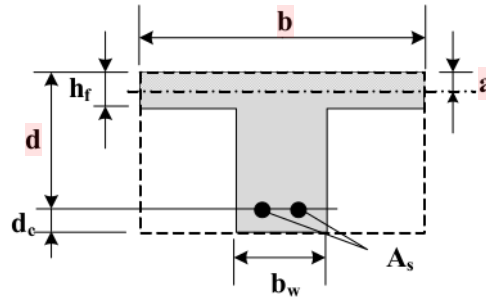
8.4.10.3 Balok T terisolasi — Tebal sayap h_f dalam balok T terisolasi harus paling sedikit setengah tebal badan b_w , dan lebar sayap efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil antara $4b_w$ dan b_f (Gambar 8.4.10.3).



Gambar 8.4.10.3 – Lebar sayap efektif untuk balok T terisolasi.

8.4.10.4 Kekuatan momen desain balok T — Kekuatan momen desain harus dihitung menggunakan 8.4.8 untuk penampang di mana sayapnya dalam kondisi tertekan (Gambar 8.4.10.4), dan tinggi blok tekan seragam ekuivalen a berada di dalam tebal sayap h_f , seperti dihitung oleh Pers. (8.4.10.4).

$$h_f \geq a \text{ dan } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (8.4.10.4)$$



Gambar 8.4.10.4 – Penampang efektif untuk perhitungan kekuatan momen balok T.

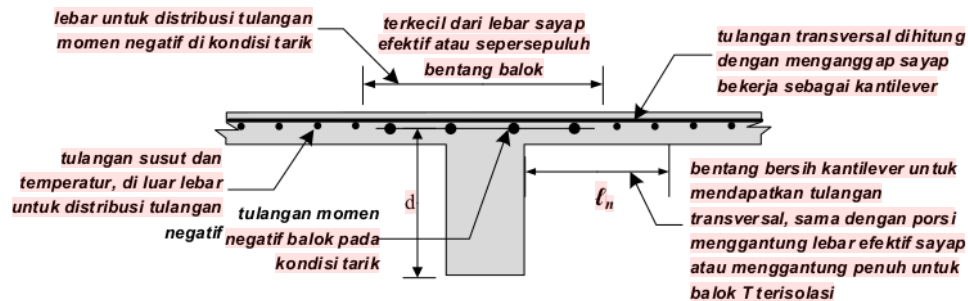
8.4.10.5 Rasio tulangan tarik lentur — Jika nilai ρ yang ditentukan oleh Pers. (8.4.10.5) tidak terlampaui, rasio tulangan tarik lentur, $\rho = A_s/(bd)$ untuk balok-T, harus dihitung menggunakan A_s dari Pers. (8.4.8.2).

$$\rho \leq \frac{0,85 f'_c h_f}{f_y d} \quad (8.4.10.5)$$

Jika nilai ρ lebih kecil dari ρ_{min} dari 8.4.5, A_s harus diperbesar. Jika nilai ρ lebih kecil dari ρ_{max} dari 8.4.6, dimensi komponen struktur harus diperbesar, koreksi berat sendiri.

8.4.11 Tulangan dalam sayap balok T — Tulangan sayap balok T minimum pada 8.4.11.1 dan 8.4.11.2 harus berlaku untuk girder dan balok tetapi tidak untuk konstruksi joist. Tulangan sayap tidak boleh kurang dari yang dibutuhkan oleh sistem slab.

8.4.11.1 Distribusi tulangan momen negatif — Jika sayap balok T dalam kondisi tertekan, tulangan balok momen negatif harus didistribusi di seluruh lebar yang sama dengan yang terkecil dari lebar sayap efektif seperti dijelaskan dalam 8.4.10, atau 1/10 bentang balok. Bagian lebar sayap efektif yang melebihi 1/10 bentang balok harus memiliki tulangan susut dan temperatur (7.3.3) dalam arah balok. Mengacu pada Gambar 8.4.11.1. Pembatasan pada 8.4.3 tidak berlaku pada bagian ini.



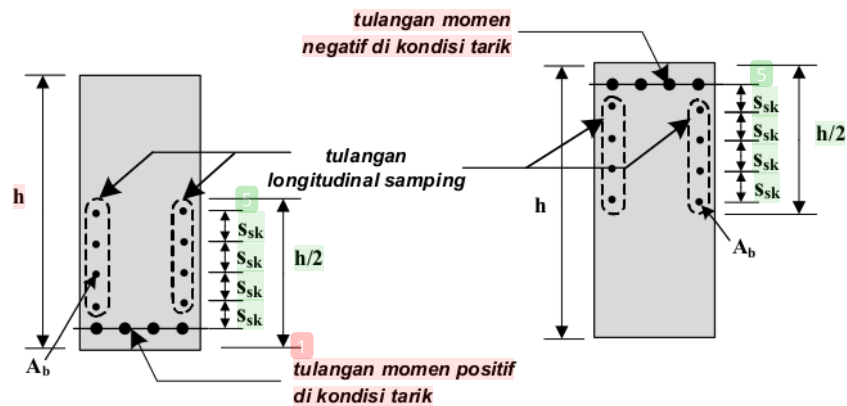
Gambar 8.4.11.1 – Penulangan dalam sayap balok T.

8.4.11.2 Tulangan sayap transversal — Dalam slab, tulangan tegak lurus balok harus menahan momen negatif terfaktor yang dihitung dengan mengasumsikan lebar sayap bekerja sebagai kantilever yang ditumpu pada balok (Gambar 8.4.11.1) dan, untuk balok T terisolasi, lebar penuh sayap yang menggantung. Tulangan tersebut harus sesuai dengan 7.3.6.

8.4.12 Tulangan longitudinal samping — Jika tinggi h suatu girder, balok, atau joist melebihi 36 in. (900 mm), tulangan longitudinal samping harus disediakan di muka-muka samping komponen struktur untuk jarak sama dengan $h/2$ terdekat tulangan tarik lentur. Spasi vertikal s_{sk} antar tulangan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari Persamaan (8.4.12), $d/6$, dan 12 in. (300 mm) (Gambar 8.4.12).

$$s_{sk} = \frac{900.000}{f_y} - 2,5c_c \leq \frac{720.000}{f_y} \quad (8.4.12)$$

$$\left[s_{sk} = \frac{159.600}{f_y} - 2,5c_c \leq \frac{126.000}{f_y} \quad (SI) \right]$$



Gambar 8.4.12 – Tulangan longitudinal samping untuk girder, balok, dan joist dengan $h > 36$ in. (900 mm).

8.4.13 Nilai d_c dan d untuk digunakan dalam girder, balok, dan joist — Perhitungan d_c , jarak dari serat tertarik ekstrim ke pusat tulangan tarik, harus memperhitungkan selimut beton dari 5.4, diameter tulangan, dan lapis tulangan.

Nilai-nilai d_c berikut dapat digunakan untuk menghitung d sebagai $d = h - d_c$ untuk kasus-kasus di mana hanya satu lapis tulangan yang digunakan. Untuk girder dan balok, $d_c = 2,4$ in. (60 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 2,8$ in. (70 mm) untuk eksposur eksterior. Untuk joist, $d_c = 2$ in. (50 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 2,4$ in. (60 mm) untuk eksposur eksterior.

8.4.14 Tulangan momen positif

8.4.14.1 Deskripsi — Tulangan momen positif harus disediakan dalam penampang girder, balok, atau joist, seperti diindikasikan dalam Bab 8, dan harus sesuai dengan 8.4 dan batasan-batasan khusus untuk setiap jenis komponen struktur dalam 8.6 atau 8.7.

8.4.14.2 Lokasi — Tulangan momen positif harus ditempatkan secara longitudinal dalam girder, balok, atau joist. Tulangan momen positif harus ditempatkan secara praktis sedekat mungkin ke permukaan bawah girder, balok, atau joist mengikuti selimut beton pada 5.4. Jika girder, balok, atau joist memikul girder, balok, dan joist lainnya, tulangan momen positif komponen struktur yang dipikul harus dipasang di atas tulangan momen positif komponen struktur yang memikul.

8.4.14.3 Jumlah pemotongan — Tidak lebih dari setengah tulangan momen positif pada tengah bentang boleh dipotong di lokasi-lokasi yang diindikasikan dalam 8.6.5 atau 8.7.5.

8.4.14.4 Penyambungan tulangan — Tulangan momen positif yang tersisa dari 8.4.14.3 boleh disambung lewatan di antara titik pemotongan dan muka tumpuan yang berlawanan.

8.4.14.5 Penanaman pada tumpuan interior — Tulangan momen positif yang dihentikan pada suatu tumpuan interior harus dilanjutkan ke muka tumpuan yang berlawanan ditambah jarak sambungan lewatan pada 5.8.2.

8.4.14.6 Pengangkuran ujung tulangan — Pada ujung girder, balok, atau joist, tulangan momen positif harus membentang hingga tepi dan diakhiri dengan kait standar.

8.4.15 Tulangan momen negatif

8.4.15.1 Deskripsi — Tulangan momen negatif harus disediakan dalam penampang girder, balok, atau joist dan tumpuan seperti diindikasikan dalam Bab 8, dan harus sesuai dengan 8.4 dan batasan-batasan khusus untuk setiap jenis komponen struktur dalam 8.6 atau 8.7.

8.4.15.2 Lokasi — Tulangan momen negatif harus disediakan pada semua tumpuan dan harus ditempatkan secara praktis sedekat mungkin ke permukaan atas girder, balok, atau joist mengikuti selimut beton pada 5.4. Pada tumpuan di mana girder atau balok berpotongan, tulangan momen negatif komponen struktur dengan bentang yang lebih panjang harus ditempatkan di atas.

8.4.15.3 Jumlah pemotongan — Tulangan momen negatif di lokasi-lokasi yang diindikasikan dalam 8.6.5 atau 8.7.5 boleh dipotong, kecuali tulangan momen negatif kantilever tidak boleh dipotong. Jika bentang-bentang yang bersebelahan tidak sama panjang, titik pemotongan tulangan momen negatif harus berdasarkan bentang yang lebih panjang.

8.4.15.4 Penyambungan tulangan — Tulangan momen negatif di antara titik pemotongan dan tumpuan tidak boleh disambung-lewatan.

8.4.15.5 Pengangkuran ujung tulangan — Tulangan momen negatif pada ujung girder, balok, dan joist harus diakhiri dengan kait standar pada tepi jauh girder, balok, kolom, atau dinding beton bertulang yang memikul, sesuai jarak pengangkuran yang dijelaskan oleh 5.8.3. Pada tepi eksternal kantilever, tulangan momen negatif harus diakhiri dengan kait standar.

8.4.15.6 Tumpuan sengkang — Dalam area di mana tidak ada tulangan momen negatif dibutuhkan, tulangan atas harus disediakan untuk penempelan dan pengangkuran sengkang. Diameter tulangan atas tersebut harus sama dengan atau lebih besar dari diameter tulangan sengkang. Panjang putaran minimum untuk tulangan atas tersebut harus 6 in. (150 mm).

8.5 – Tulangan transversal

8.5.1 Deskripsi — Tulangan transversal untuk girder, balok, atau joist harus terdiri dari sengkang yang menyelubungi tulangan longitudinal dan dipasang tegak lurus sumbu longitudinal komponen struktur pada interval yang bervariasi.

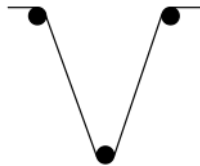
Fungsi utama tulangan transversal dalam girder, balok, atau joist adalah:

- (a) Berkontribusi terhadap kekuatan geser komponen struktur
- (b) Menyediakan sokongan lateral untuk tulangan longitudinal yang mengalami tegangan tekan
- (c) Bekerja sebagai tulangan penggantung dalam girder, balok dan joist penyokong
- (d) Berkontribusi terhadap kekuatan torsi komponen struktur
- (e) Menyediakan kekangan beton dalam zona seismik pada lokasi-lokasi yang ditentukan dalam komponen struktur

1
8.5.2 Bentuk sengkang — Sengkang harus terdiri dari kaki vertikal tunggal atau banyak. Setiap kaki vertikal harus mengikat tulangan longitudinal baik dengan dibengkokkan mengelilingi tulangan longitudinal ketika sengkang menerus atau dengan menggunakan kait sengkang standar (5.6) untuk mengelilingi tulangan longitudinal pada ujung sengkang (Gambar 8.5.2a dan 8.5.2b).

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Gambar 8.5.2a – Bentuk-bentuk sengkang tipikal untuk girder dan balok.



Gambar 8.5.2b – Bentuk-bentuk sengkang tipikal untuk joist, sebagai tambahan Gambar 8.5.2a.

8.5.2.1 Bentuk sengkang yang diizinkan untuk girder dan balok — Semua sengkang dalam girder dan balok harus merupakan sengkang tertutup dengan kait 135 derajat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8.5.2a(a). Bentuk-bentuk sengkang yang lain biasa digunakan namun ditunjukkan untuk mengklarifikasi bahwa bentuk-bentuk tersebut tidak digunakan dalam panduan ini. Dalam area seismik, bentuk sengkang dibatasi lebih jauh.

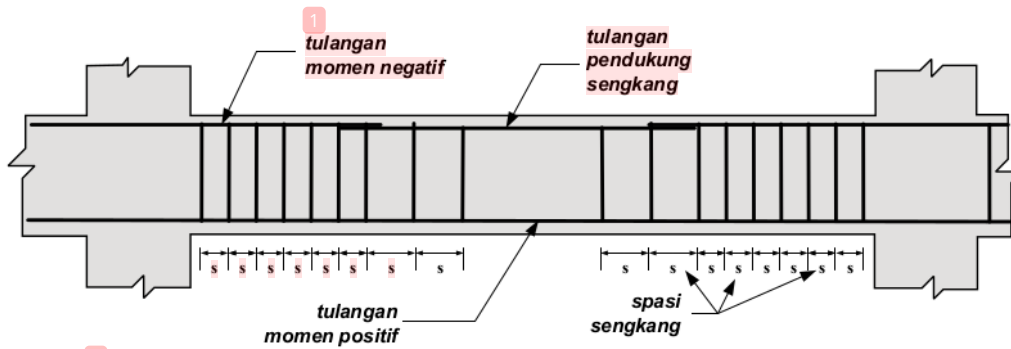
8.5.2.2 Bentuk sengkang yang diizinkan untuk joist — Semua jenis sengkang yang ditunjukkan dalam Gambar 8.5.2a dan 8.5.2b boleh digunakan dalam joist.

8.5.2.3 Spasi bersih minimum antara kaki-kaki sengkang — Dalam girder, balok, atau joist, spasi bersih minimum antar sengkang atau kaki sejajar dalam sengkang harus 1 in. (25 mm).

8.5.2.4 Tumpuan sengkang — Sengkang harus diikat ke tulangan longitudinal agar sengkang tidak bergeser pada saat pengecoran beton (8.4.15.6).

8.5.2.5 Penyambungan kaki sengkang — Tulangan sengkang tidak boleh disambung-lewatan.

8.5.3 Lokasi tulangan transversal — Interval spasi sengkang s harus sesuai dengan 8.5.4.5 (Gambar 8.5.3).



1 Gambar 8.5.3 – Spasi sengkang tipikal di sepanjang girder, balok, atau joist

8.5.4 Kontribusi tulangan transversal terhadap kekuatan geser

8.5.4.1 Umum — Gaya geser aksi-balok menyertai momen lentur dan terjadi dalam girder, balok, dan joist di sepanjang bentangnya, dan nilai terbesarnya terjadi di sekitar tumpuan dan beban terpusat.

8.5.4.2 Kekuatan geser desain — Kekuatan geser desain ϕV_n penampang girder, balok, atau joist harus dihitung mengikuti prosedur dalam 5.13.4 untuk gaya geser aksi-balok sebagai

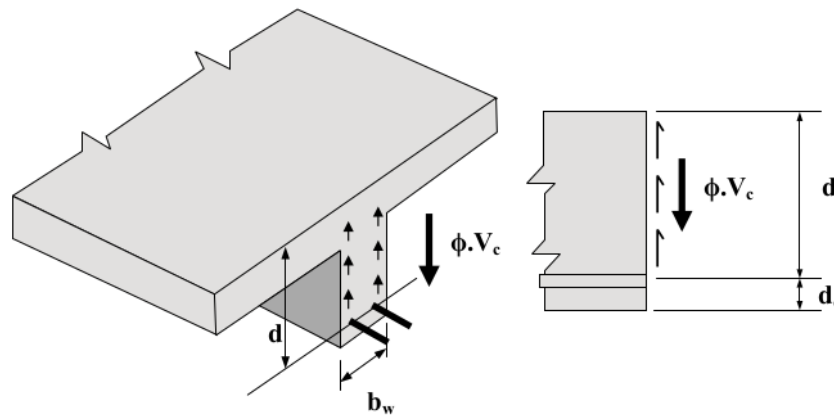
$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (8.5.4.2)$$

dengan ϕV_c adalah kontribusi beton terhadap kekuatan geser desain; ϕV_s adalah kontribusi tulangan geser terhadap kekuatan geser desain; dan $\phi = 0,75$.

8.5.4.3 Kontribusi beton terhadap kekuatan geser — Pada setiap lokasi yang harus ditinjau (Gambar 8.5.4.3), kontribusi beton terhadap badan girder, balok, atau joist harus diperhitungkan (Gambar 8.5.3) dan harus dihitung menggunakan Persamaan (8.5.4.3), dengan $\phi = 0,75$.

$$\phi V_c = \phi 2 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (8.5.4.3)$$

$$\left[\phi V_c = \phi 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d \text{ (SI)} \right]$$



1 Gambar 8.5.4.3 – Kontribusi beton terhadap kekuatan geser aksi-balok dalam girder, balok, dan joist.

8.5.4.4 *Kontribusi tulangan transversal terhadap kekuatan geser* — Untuk tulangan tegak lurus sumbu komponen struktur, kontribusi tulangan tersebut terhadap kekuatan geser desain harus

$$\phi V_s = \phi \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (8.5.4.4a)$$

dengan A_v adalah luas tulangan geser yang tegak lurus sumbu komponen struktur (luas penampang sengkang A_b dikali jumlah kaki sengkang vertikal) dengan jarak s ; f_{yt} adalah kekuatan leleh baja tulangan geser; dan $\phi = 0,75$.

Kontribusi tulangan terhadap kekuatan geser desain tidak boleh diambil lebih besar dari

$$\phi V_s \leq \phi 8 \sqrt{f'_c} b_w d = 4 \phi V_c \quad (8.5.4.4b)$$

$$\left[\phi V_s \leq \phi 0,66 \sqrt{f'_c} b_w d = 4 \phi V_c \quad (\text{SI}) \right]$$

8.5.4.5 *Desain tulangan geser* — Tulangan geser dalam girder, balok, dan joist harus disediakan menggunakan sengkang tegak lurus sumbu komponen struktur dengan spasi maksimum s , diukur sepanjang sumbu komponen struktur:

(a) Jika gaya geser terfaktor V_u kurang dari $\phi V_c/2$, tulangan geser boleh tidak digunakan.

(b) Jika V_u melebihi $\phi V_c/2$ dan kurang dari ϕV_c , luas tulangan geser minimum harus disediakan menurut Pers. (8.5.4.5). Spasi s sepanjang sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $d/2$ dan 24 in. (600 mm) (Gambar 8.5.4.5).

$$A_v = 0,75 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (8.5.4.5)$$

$$\left[A_v = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (\text{SI}) \right]$$

dengan A_v adalah A_b dikalikan jumlah kaki sengkang.

(c) Jika V_u melebihi ϕV_c , selisih $(V_u - \phi V_c)$ harus disediakan oleh tulangan geser, menggunakan Pers. (8.5.4.3) dan Pers. (8.5.4.4a), dan batasan (i) sampai dengan (iv) harus berlaku (Tabel 8.5.4.5):

- i. Luas tulangan geser minimum tidak boleh kurang dari yang ditentukan menggunakan Persamaan (8.5.4.5).
- ii. Jika nilai ϕV_s , yang dihitung menggunakan Persamaan.(8.5.4.4a), kurang dari $2\phi V_c$, batasan spasi (b) harus digunakan.
- iii. Jika nilai ϕV_s , yang dihitung menggunakan Persamaan.(8.5.4.4a), lebih dari $2\phi V_c$, batasan spasi harus setengah dari nilai yang disyaratkan dalam (b).
- iv. Nilai ϕV_s , yang dihitung menggunakan Persamaan.(8.5.4.4a), tidak boleh melebihi $4\phi V_c$.

$$\begin{array}{l}
 d \\
 d_c \\
 b_w
 \end{array}
 \leq \begin{array}{l}
 \text{yang} \\
 \text{terkecil dari}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 d/2 \\
 24 \text{ in. (600 mm)} \\
 A_v f_y / 50 b_w \\
 [A_v f_y / 0,35 b_w \text{ (SI)}]
 \end{array}$$

$$A_v = (\# \text{ kaki}) \times A_b$$

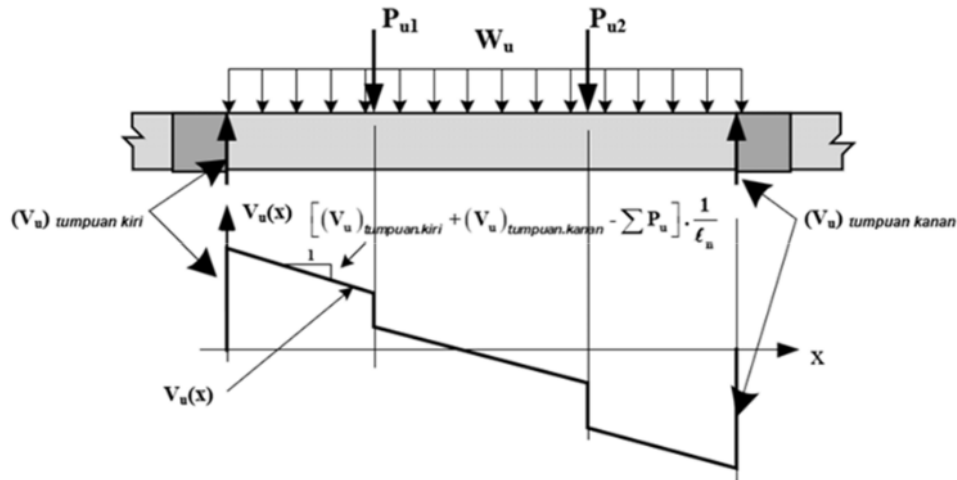
Gambar 8.5.4.5 – Tulangan geser minimum dalam girder, balok, dan joist jika $(\phi V_c/2 \leq V_u < \phi V_c)$.

8.5.4.6 Diagram gaya geser — Nilai V_u di muka tumpuan harus ditentukan menurut 8.6 atau 8.7. Suatu diagram yang menunjukkan variasi gaya geser di dalam bentang harus digambar, dengan nilai V_u pada muka tumpuan kiri bertanda positif. Gaya geser dari titik tersebut ke arah kanan harus berkurang dengan laju sebesar

$$\frac{[(V_u)_{tump. \text{ kiri}} + (V_u)_{tump. \text{ kanan}} - \sum P_u]}{\ell_n} \tag{8.5.4.6}$$

dengan $\sum P_u$ sesuai dengan jumlah beban terpusat terfaktor pada bentang. Pada titik di mana beban terpusat diterapkan, nilai P_u harus dikurangi dari nilai gaya geser di kiri titik beban. Untuk balok dengan beban titik, menuju ke kanan, pada muka tumpuan kanan, nilai V_u negatif tercapai (Gambar 8.5.4.6). Pada semua penampang dalam bentang, nilai ϕV_n , yang ditentukan dari Persamaan (8.5.4.2), harus sama dengan atau lebih besar dari nilai mutlak $V_u(x)$ yang ditunjukkan dalam Gambar 8.5.4.6.

Batasan nilai ϕV_n , seperti ditetapkan dalam Tabel 8.5.4.5, harus ditandai dalam diagram gaya geser, dan spasi sengkang s harus ditentukan untuk rentang yang berbeda di dalam diagram gaya geser. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih jauh dari $s/2$ dari muka tumpuan, dengan s adalah spasi sengkang di tumpuan. Spasi sengkang minimum harus memenuhi 8.5.2.3. Jika s yang dihitung kurang dari 2 in. (50 mm), penggunaan sengkang dengan jumlah kaki vertikal yang lebih banyak atau diameter tulangan yang lebih besar harus ditinjau.

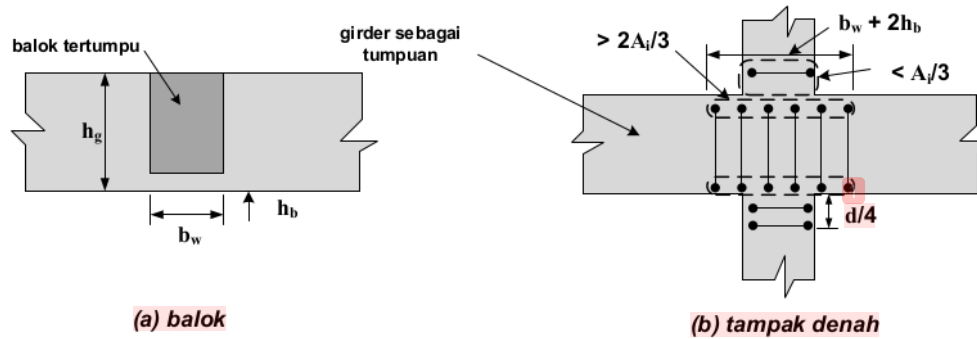


1 Gambar 8.5.4.6 – Perhitungan diagram gaya geser pada girder, balok, dan joist.

Tabel 8.5.4.5 – Tulangan geser dalam girder, balok, dan joist, spasi s maksimum

Nilai gaya geser perlu terfaktor, V_u	Nilai batasan, ϕV_s	Luas tulangan geser A_v minimum dalam suatu jarak s	Spasi s maksimum
$\frac{\phi V_c}{2} > V_u$	-	tidak dibutuhkan	-
$\phi V_c > V_u \geq \frac{\phi V_c}{2}$	-	$A_v = 0,75 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$ $[A_v = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \text{ (SI)}]$	$s \leq$ yang terkecil $\left\{ \begin{array}{l} d/2 \\ 24 \text{ in. (600 mm)} \end{array} \right.$
$V_u \geq \phi V_c$	$2\phi V_c > \phi V_s$	$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)s}{\phi f_{yt} d}$	$s \leq$ yang terkecil $\left\{ \begin{array}{l} d/2 \\ 24 \text{ in. (600 mm)} \\ \frac{A_v f_{yt}}{50 b_w} \left[\frac{A_v f_{yt}}{0,35 b_w} \text{ (SI)} \right] \end{array} \right.$
	$4\phi V_c > \phi V_s \geq 2\phi V_c$	$A_v = \frac{(V_u - \phi V_c)s}{\phi f_{yt} d}$	$s \leq$ yang terkecil $\left\{ \begin{array}{l} d/4 \\ 12 \text{ in. (300 mm)} \\ \frac{A_v f_{yt}}{50 b_w} \left[\frac{A_v f_{yt}}{0,35 b_w} \text{ (SI)} \right] \end{array} \right.$
	$\phi V_s \geq 4\phi V_c$	tidak diizinkan	-

1 **8.5.5 Senggang penggantung** — Jika suatu balok dipikul oleh girder dengan tinggi yang serupa, tulangan penggantung harus disediakan pada joint. Reaksi dari balok yang dipikul cenderung mendorong ke bawah girder yang memikul. Reaksi tersebut harus ditahan oleh tulangan penggantung dalam bentuk senggang tertutup yang dipasang di kedua komponen struktur tersebut. Senggang penggantung adalah senggang tambahan yang dibutuhkan untuk geser (Gambar 8.5.5) dan harus sesuai dengan 8.5.5.1 dan 8.5.5.2.



Gambar 8.5.5 – Penulangan penggantung.

8.5.5.1 Luas sengkang penggantung

(a) Sediakan sengkang penggantung jika V_u dari balok yang dipikul pada bidang antarmuka sama dengan atau lebih besar dari $\phi 3\sqrt{f_c'}b_wd$ [$\phi 0,25\sqrt{f_c'}b_wd$ (SI)], dengan $\phi = 0,75$.

(b) Sediakan sengkang penggantung jika h_b sama dengan atau kurang dari setengah tinggi total girder penyokong, dengan h_b adalah dimensi vertikal dari bawah girder penyokong ke bawah balok yang dipikul (Gambar 8.5.5).

(c) Luas tulangan penggantung, A_t , harus ditentukan dari Persamaan (8.5.5.1).

$$A_t \geq \frac{[1 - (h_b/h_g)]V_u}{\phi f_{yt}} \quad (8.5.5.1)$$

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor balok pada muka tumpuan; A_t adalah luas sengkang penggantung total; h_g adalah tinggi girder; f_{yt} adalah kekuatan leleh terspesifikasi sengkang; dan $\phi = 0,75$.

8.5.5.2 Penempatan sengkang penggantung — Paling sedikit dua pertiga A_t harus didistribusikan secara merata di dalam lebar balok penyokong b_w ditambah h_b di setiap sisi. Area sengkang penggantung tersisa, tidak lebih dari sepertiga A_t , harus didistribusikan secara merata dalam rentang $d/4$ dari muka girder penyokong, dengan d adalah tinggi efektif balok yang dipikul. Tulangan longitudinal bawah balok harus ditempatkan di atas tulangan longitudinal bawah girder.

8.6 – Joist dan balok yang dipikul oleh girder

8.6.1 Umum — Pasal 8.6 berlaku untuk joist dan balok yang monolit dengan dan dipikul oleh girder. Sistem joist dua arah atau sistem wafel dengan balok, seperti dijelaskan dalam 6.1.3.3, juga harus memenuhi 8.6. Sistem slab wafel tanpa balok yang membentang di antara kolom-kolom seperti dijelaskan dalam 6.1.4.5 harus didesain menggunakan Bab 9 untuk sistem slab kolom.

8.6.2 Batasan dimensional

8.6.2.1 Joist — Selain Bab 8, joist harus memenuhi batasan dimensional pada 1.3 dan batasan-batasan pada 6.1.3.1. Saluran, lubang (*shaft*), dan bukaan harus memenuhi 6.8. Ketinggian minimum harus sesuai dengan 6.5.3 untuk joist satu arah dan 6.5.4 untuk joist dua arah.

8.6.2.2 Balok — Selain Bab 8, balok yang dipikul oleh girder harus memenuhi batasan dimensional pada 1.3 dan batasan-batasan pada 6.1.2. Saluran, lubang (*shaft*), dan bukaan harus memenuhi 6.8. Ketinggian minimum harus sesuai dengan 6.5.3. Lebar badan balok b_w tidak boleh kurang dari 8 in. (200 mm). Spasi maksimum antara tumpuan-tumpuan lateral balok yang terisolasi harus 50 kali lebar b sayap tertekan terkecil.

8.6.2.3 *Kantilever* — Semua kantilever joist atau balok harus menerus dengan paling sedikit satu bentang interior. Kantilever ganda tanpa bentang interior tidak diperbolehkan.

8.6.3 *Kekuatan momen perlu*

8.6.3.1 *Kantilever* — Momen negatif terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk kantilever balok dan joist yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang harus dihitung menggunakan Persamaan (8.6.3.1), dengan mengasumsikan:

(a) Setengah beban terfaktor terdistribusi W_u bekerja sebagai beban terpusat pada ujung kantilever dengan semua beban terpusat yang bekerja pada bentang kantilever $\sum P_u$.

(b) Setengah W_u bekerja sebagai beban terdistribusi merata sepanjang bentang penuh.

$$M_u^- = \frac{3W_u \ell_n^2}{4} + \ell_n \sum P_u \quad (8.6.3.1)$$

Kekuatan momen negatif perlu kantilever pada tumpuan harus sama dengan atau melebihi momen terfaktor negatif maksimum pada tumpuan interior pertama dan sepertiga momen terfaktor positif pada bentang interior pertama.

8.6.3.2 *Joist dan balok bentang tunggal yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding beton bertulang* — Momen positif dan negatif terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk balok bentang tunggal dan joist bentang tunggal satu arah harus dihitung menggunakan Tabel 8.6.3.2, dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bentang tersebut.

Tabel 8.6.3.2 – Momen terfaktor untuk balok dan joist bentang tunggal

Momen positif:	$M_u^+ = \frac{W_u \ell_n^2}{8} + \frac{\ell_n}{4} \sum P_u$	(8.6.3.2a)
Momen negatif di tumpuan:	$M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{24} + \frac{\ell_n}{16} \sum P_u$	(8.6.3.2b)

Tabel 8.6.3.2 – Momen terfaktor untuk balok dan joist satu arah dengan dua bantang atau lebih

Momen positif di bantang ujung:	$M_u^+ = \frac{W_u \ell_n^2}{11} + \frac{\ell_n}{9} \sum P_u$	(8.6.3.3a)
Bentang interior:	$M_u^+ = \frac{W_u \ell_n^2}{16} + \frac{\ell_n}{5} \sum P_u$	(8.6.3.3b)
Momen negatif di muka interior tumpuan eksternal:	$M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{24} + \frac{\ell_n}{16} \sum P_u$	(8.6.3.3c)
Muka eksterior tumpuan internal pertama, hanya dua bantang:	$M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{9} + \frac{\ell_n}{6} \sum P_u$	(8.6.3.3d)
Muka tumpuan internal, lebih dari dua bantang:	$M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{10} + \frac{\ell_n}{7} \sum P_u$	(8.6.3.3e)
Muka semua tumpuan untuk joist dengan bantang yang tidak melebihi 10 ft (3 m):	$M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{12} + \frac{\ell_n}{8} \sum P_u$	(8.6.3.3f)

8.6.3.3 Joist bantang banyak dan balok yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding — Momen positif dan negatif terfaktor M_u (kekuatan momen perlu) untuk balok dan joist satu arah, dengan dua bantang atau lebih, yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding beton bertulang, harus dihitung menggunakan Tabel 8.6.3.3, dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bantang tersebut.

8.6.3.4 Penggunaan analisis rangka — Analisis rangka, yang memenuhi 8.1.2 boleh digunakan untuk mendapatkan momen dan gaya geser terfaktor sebagai pengganti nilai-nilai dalam 8.6.3.1 sampai 8.6.3.3.

8.6.3.5 Joist dua arah yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding — Kekuatan momen perlu untuk joist dua arah yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding struktural dapat diperoleh menggunakan 7.9.1 dan 7.9.2, dengan mengabaikan ketinggian minimum balok atau girder penyokong seperti ditetapkan oleh 7.9.1(c) dan 6.1.3.3.

8.6.4 Kekuatan geser perlu

8.6.4.1 Kantilever joist dan balok yang dipikul oleh balok, girder dan dinding — Gaya geser terfaktor V_u pada tumpuan kantilever harus dihitung menggunakan Persamaan (8.6.4.1).

$$V_u = W_u \ell_n + \sum P_u \quad (8.6.4.1)$$

Dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bantang tersebut.

8.6.4.2 Joist dan balok bantang tunggal yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding — Gaya geser terfaktor V_u untuk balok bantang tunggal dan joist bantang tunggal satu arah harus dihitung menggunakan Persamaan (8.6.4.2).

$$V_u = \frac{W_u \ell_n}{2} + 0,8 \sum P_u \tag{8.6.4.2}$$

Dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bentang tersebut.

8.6.4.3 *Joist dan balok yang dipikul oleh balok, girder, atau dinding, dengan dua bentang atau lebih* — Gaya geser terfaktor V_u untuk balok dan joist satu arah dengan dua bentang atau lebih yang dipikul balok, girder atau dinding struktural harus dihitung menggunakan persamaan yang diberikan dalam Tabel 8.6.4.3, dengan $\sum P_u$ sesuai dengan jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bentang tersebut.

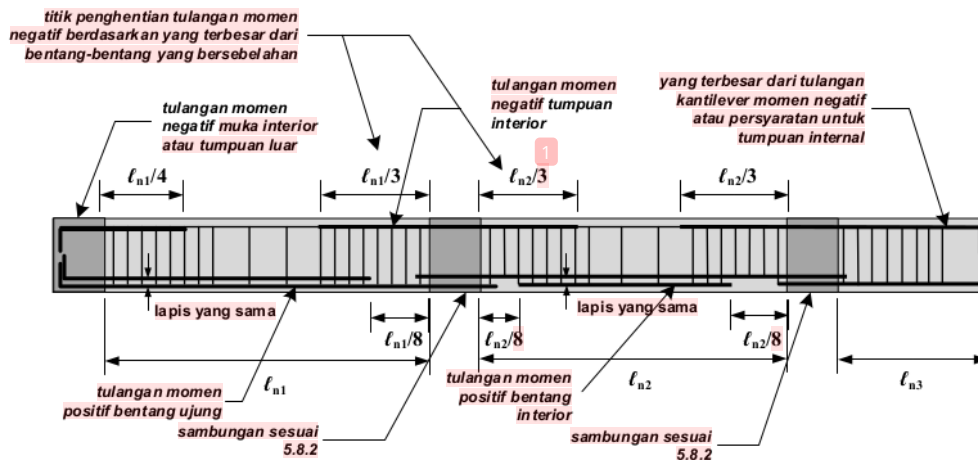
Tabel 8.6.4.3 – Gaya geser terfaktor untuk balok dan joist satu arah dengan dua bentang atau lebih

Pada muka eksterior tumpuan interior pertama: $V_u = 1,15 \frac{q_u \ell_n}{2} + 0,8 \sum P_u$	1 (8.6.4.3a)
Pada muka tumpuan lainnya: $V_u = \frac{q_u \ell_n}{2} + 0,75 \sum P_u$	1 (8.6.4.3b)

8.6.4.4 *Penggunaan analisis rangka* — Analisis rangka, yang memenuhi 8.1.2 boleh digunakan untuk mendapatkan momen terfaktor sebagai pengganti nilai-nilai dalam 8.6.4.1 sampai 8.6.4.3.

8.6.5 Tulangan

8.6.5.1 *Tulangan momen positif* — Luas tulangan momen positif harus ditentukan untuk nilai M_u^+ yang dihitung. Jika terdapat slab di bagian atas penampang atau jika balok atau joist berbentuk T, efek balok T boleh digunakan. Tulangan momen positif harus sesuai dengan 8.4.14. Pada tumpuan internal, pada jarak sebesar $\ell_n/8$ yang diukur dari muka tumpuan ke arah bentang, sampai dengan setengah tulangan momen positif boleh dipotong jika tidak ada beban terpusat di rentang jarak tersebut (Gambar 8.6.5.1). Untuk balok dan joist bentang tunggal, tulangan momen positif tidak boleh dipotong.



Gambar 8.6.5.1 – Penulangan untuk balok dan joist yang disokong oleh balok atau girder.

8.6.5.2 Tulangan momen negatif — Luas tulangan momen negatif harus ditentukan untuk nilai M_u terbesar yang dihitung untuk kedua sisi tumpuan. Tulangan tersebut harus sesuai dengan 8.4.15. Jika terdapat slab di bagian atas penampang atau jika balok atau joist berbentuk T, tulangan momen negatif harus sesuai dengan 8.4.11.1. Pada jarak sebesar $\ell_n/4$ untuk tumpuan eksternal dan $\ell_n/3$ untuk tumpuan internal, yang diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang, semua tulangan momen negatif boleh dipotong (Gambar 8.6.5.1). Tulangan momen negatif tidak boleh dipotong pada kantilever.

8.6.5.3 Tulangan transversal — Nilai V_u pada muka tumpuan kanan dan kiri harus ditentukan dengan persamaan yang sesuai dari 8.6.4. Tulangan transversal harus sesuai dengan 8.5.

8.6.6 Reaksi pada balok dan girder

8.6.6.1 Joist satu arah — Reaksi terfaktor pada tumpuan sistem joist boleh dianggap terdistribusi merata. Reaksi terfaktor pada tumpuan, r_u , per satuan panjang harus merupakan nilai yang ditentukan dari Persamaan (8.6.6.1) ditambah reaksi terdistribusi merata dari kantilever yang membentang dari tumpuan tersebut.

$$r_u = \frac{V_u \ell_s}{s_j \ell_n} \quad (8.6.6.1)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor dari 8.6.4; ℓ_s adalah bentang as ke as joist; ℓ_n adalah bentang bersih joist; dan s_j adalah spasi as ke as antara joist-joist yang paralel.

8.6.6.2 Joist dua arah yang dipikul balok, girder, atau dinding — Reaksi terfaktor untuk joist dua arah yang dipikul balok, girder, atau dinding struktural boleh dihitung menggunakan 7.9.1 dan 7.9.5, dengan mengabaikan ketinggian minimum balok atau girder penyokong yang ditetapkan dalam 7.9.1(c) dan 6.1.3.3.

8.6.6.3 Balok — Reaksi terfaktor pada tumpuan, R_u , harus merupakan nilai yang ditentukan dari Persamaan (8.6.6.3) ditambah reaksi kantilever yang membentang dari tumpuan tersebut.

$$R_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_n} \quad (8.6.6.3)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor dari 8.6.4; ℓ_s adalah bentang as ke as; dan ℓ_n adalah bentang bersih balok.

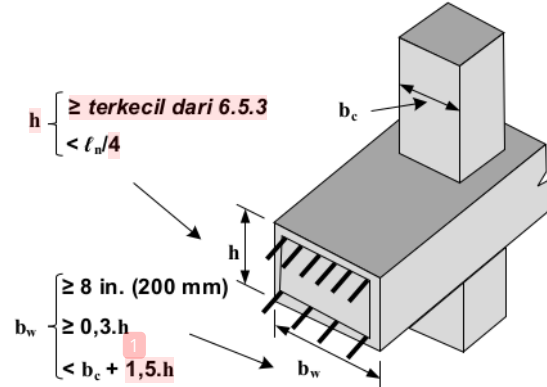
8.7 – Girder yang merupakan bagian dari suatu rangka

8.7.1 Umum — Pasal 8.7 berlaku untuk girder yang merupakan bagian dari rangka penahan momen di mana girder monolit dan dipikul langsung oleh kolom atau dinding beton bertulang.

8.7.2 Batasan dimensional

8.7.2.1 Umum — Selain Bab 8, girder yang merupakan bagian dari suatu rangka harus memenuhi batasan dimensional yang ditentukan dalam 1.3. Saluran dan pipa yang tertanam harus sesuai dengan 6.8

8.7.2.2 Ketinggian dan lebar girder — Girder harus prismatis tanpa hauns (*haunch*), brakit, atau korbek. Ketinggian h harus sesuai dengan ketinggian minimum pada 6.5.3. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali ketinggiannya h . Rasio lebar terhadap ketinggian b_w/h tidak boleh kurang dari 0,3. Lebar b_w tidak boleh kurang dari 8 in. (200 mm), dan tidak melebihi lebar kolom yang memikul ditambah $3/4 h$ pada setiap sisi kolom yang memikul.



Gambar 8.7.2.2 – Batasan tinggi dan lebar girder.

8.7.2.3 Girder yang dipikul dinding beton bertulang — Girder, yang dipikul oleh dinding beton bertulang di bidang rangka, harus menerus di sepanjang dinding horizontal. Lebar girder tidak boleh kurang daripada tebal dinding. Jika girder dipikul dinding yang tegak lurus sumbu longitudinal girder, suatu balok harus dipasang sepanjang bentang dinding horizontal di level yang sama dan memiliki ketinggian yang sama dengan girder. Lebar balok tidak boleh kurang daripada tebal dinding atau 8 in. (200 mm). Tulangan vertikal dinding harus melewati girder atau balok, seperti diindikasikan dalam Bab 12.

8.7.2.4 Tumpuan lateral — Untuk girder yang tidak ditumpu lateral secara menerus oleh slab lantai atau balok sekunder, jarak bersih antar tumpuan lateral tidak boleh melebihi 50 kali lebar terkecil b dari sayap atau muka tertekan.

8.7.2.5 Batasan — Batasan-batasan berikut harus berlaku untuk girder dari rangka yang didesain berdasarkan 8.7:

- Terdapat dua bentang atau lebih
- Panjang bentang-bentang harus mendekati sama, dan panjang bentang yang lebih pendek di antara dua bentang bersebelahan tidak boleh kurang dari 80 persen panjang bentang yang lebih panjang (1.3)
- Beban terdistribusi merata dan penyesuaian beban terpusat dilakukan
- Beban hidup tak terfaktor w_f tidak melebihi tiga kali beban mati tak terfaktor w_d
- Girder tidak boleh memiliki kemiringan melebihi 15 derajat.

8.7.3 Kekuatan momen perlu

8.7.3.1 Momen positif dan negatif terfaktor — Momen positif dan negatif M_u (kekuatan momen perlu) untuk girder dan balok yang merupakan bagian dari suatu rangka di mana komponen struktur vertikalnya adalah kolom dan dinding struktural harus dihitung menggunakan persamaan-persamaan dalam Tabel 8.7.3.1, dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bentang tersebut.

8.7.3.2 Girder yang sejajar dengan sistem joist satu arah — Untuk girder yang sejajar dengan joist, lebar tributari yang diasumsikan untuk perhitungan beban terfaktor girder harus dua kali spasi joist ditambah lebar girder.

8.7.3.3 *Penggunaan analisis rangka* — Analisis rangka, yang memenuhi 8.1.2 boleh digunakan untuk mendapatkan momen terfaktor sebagai pengganti nilai-nilai dalam 8.7.3.1 sampai 8.7.4.1

8.7.4 *Kekuatan geser perlu*

8.7.4.1 *Gaya geser terfaktor* — V_u girder harus dihitung menggunakan persamaan-persamaan dalam Tabel 8.7.4.1, dengan $\sum P_u$ adalah jumlah semua beban terpusat terfaktor yang bekerja pada bentang tersebut. Mengacu pada 8.7.3.2 untuk lebar tributari yang diasumsikan.

8.7.4.2 *Penggunaan analisis rangka* — Analisis rangka, yang memenuhi 8.1.2 boleh digunakan untuk mendapatkan momen terfaktor sebagai pengganti nilai-nilai dalam 8.7.3.1 sampai 8.7.4.1

8.7.4.1 *Tulangan momen positif* — Luas tulangan momen positif harus dihitung menggunakan nilai M_u^+ yang dihitung. Jika terdapat slab di bagian atas girder, efek balok-T boleh diperhitungkan. Tulangan momen positif harus sesuai dengan 8.4.14. Pada tumpuan internal, pada jarak sebesar $\ell_n/8$ yang diukur dari muka tumpuan ke arah bentang, sampai dengan setengah tulangan momen positif boleh dipotong jika tidak ada beban terpusat di rentang jarak tersebut (Gambar 8.7.5.1a dan 8.7.5.1b).

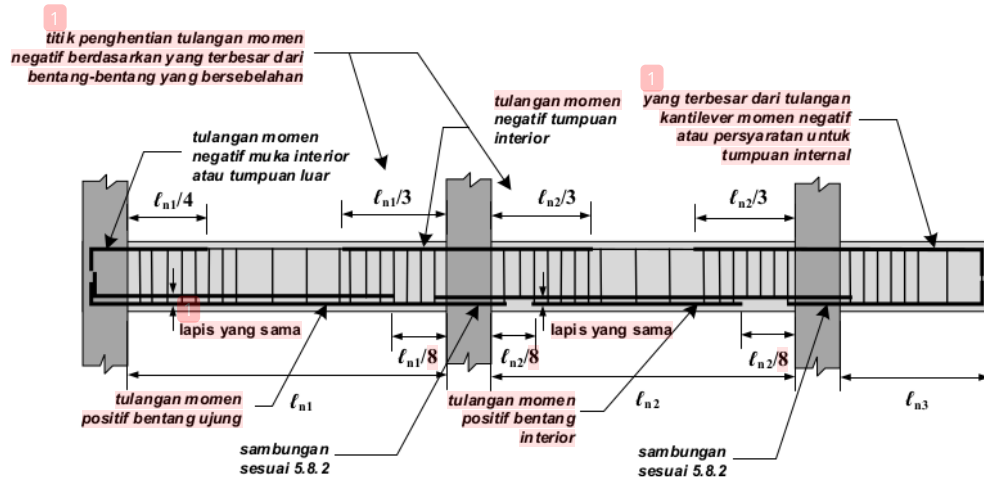
8.7.4.2 *Tulangan momen negatif* — Luas tulangan momen negatif harus ditentukan untuk nilai M_u^- terbesar yang dihitung untuk kedua sisi tumpuan. Tulangan tersebut harus sesuai dengan 8.4.15. Jika terdapat slab di bagian atas penampang atau jika balok atau joist berbentuk-T, tulangan momen negatif harus sesuai dengan 8.4.11.1. Untuk balok perimeter, seperti diindikasikan dalam 6.3.2, seperempat tulangan momen negatif boleh menerus atau disambung pada tengah bentang (Gambar 8.7.5.1b). Tulangan momen negatif dalam kantilever tidak boleh dipotong. Untuk balok-balok lainnya, semua tulangan momen negatif boleh dipotong pada jarak sebesar $\ell_n/3$ untuk tumpuan internal dan $\ell_n/4$ untuk tumpuan eksternal, yang diukur dari muka internal tumpuan ke arah bentang.

1
Tabel 8.7.3.1 – Momen terfaktor untuk girder yang merupakan bagian dari rangka

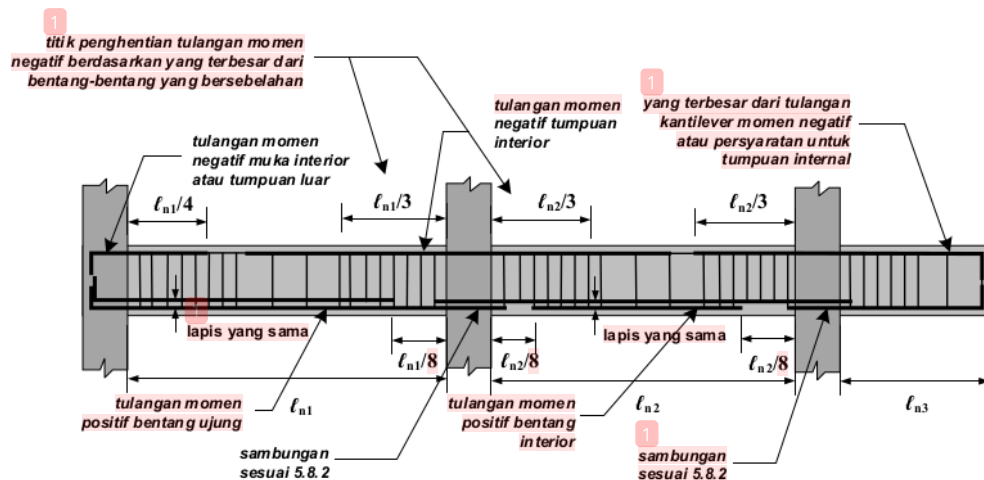
<p>Momen positif di bentang ujung:</p> $M_u^+ = \frac{W_u \ell_n^2}{14} + \frac{\ell_n}{6} \sum P_u$ <p>Bentang interior:</p> $M_u^+ = \frac{W_u \ell_n^2}{16} + \frac{\ell_n}{7} \sum P_u$	<p>(8.7.3.2a)</p> <p>1 (8.7.3.2b)</p>
<p>Momen negatif di tumpuan pada</p> <p>Muka interior kolom atau dinding struktural tegak lurus eksternal</p> $M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{16} + \frac{\ell_n}{10} \sum P_u$ <p>Muka eksterior kolom atau dinding struktural yang tegak lurus internal pertama, hanya dua bentang:</p> $M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{9} + \frac{\ell_n}{6} \sum P_u$ <p>Muka kolom atau dinding struktural yang tegak lurus internal, lebih dari dua bentang:</p> $M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{10} + \frac{\ell_n}{6,5} \sum P_u$ <p>1 Muka dinding struktural sejajar bidang rangka:</p> $M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{12} + \frac{\ell_n}{7} \sum P_u$ <p>Tumpuan kantilever girder:</p> $M_u^- = \frac{W_u \ell_n^2}{4} + \ell_n \sum P_u$	<p>1 (8.7.3.2c)</p> <p>1 (8.7.3.2d)</p> <p>(8.7.3.2e)</p> <p>1 (8.7.3.2f)</p> <p>1 (8.7.3.2g)</p>

Tabel 8.7.4.1 – Gaya geser terfaktor untuk girder yang merupakan bagian dari rangka

<p>Muka eksterior kolom interior pertama:</p> $V_u = 1,15 \frac{W_u \ell_n}{2} + 0,8 \sum P_u$ <p>Muka kolom lainnya:</p> $V_u = \frac{W_u \ell_n}{2} + 0,75 \sum P_u$ <p>Tumpuan kantilever girder:</p> $V_u = W_u \ell_n + \sum P_u$	<p>1 (8.7.4.1a)</p> <p>(8.7.4.1b)</p> <p>(8.7.4.1c)</p>
--	--



Gambar 8.7.5.1a – Tulangan dalam girder yang merupakan bagian dari rangka penahan momen yang dipikul oleh kolom atau dinding beton bertulang.



Gambar 8.7.5.1b – Tulangan dalam gelagar yang merupakan bagian dari rangka perimeter.

8.7.4.3 Tulangan transversal — Nilai V_u pada muka tumpuan kanan dan kiri harus ditentukan dengan persamaan yang sesuai dari 8.7.4. Tulangan transversal harus sesuai dengan 8.5.

8.7.4.4 Tulangan penggantung — Jika suatu balok dipikul oleh girder yang ketinggiannya serupa, penggunaan tulangan penggantung seperti diindikasikan oleh 8.5.5 harus dikaji.

8.7.5 Reaksi pada kolom dan dinding beton bertulang

8.7.5.1 Reaksi vertikal pada kolom dan dinding — Reaksi terfaktor pada tumpuan, R_u , harus merupakan nilai yang ditentukan dari Persamaan (8.7.6.1) ditambah reaksi dari kantilever yang membentang dari tumpuan tersebut.

$$R_u = \frac{V_u \ell_s}{\ell_n} \tag{8.6.6.3}$$

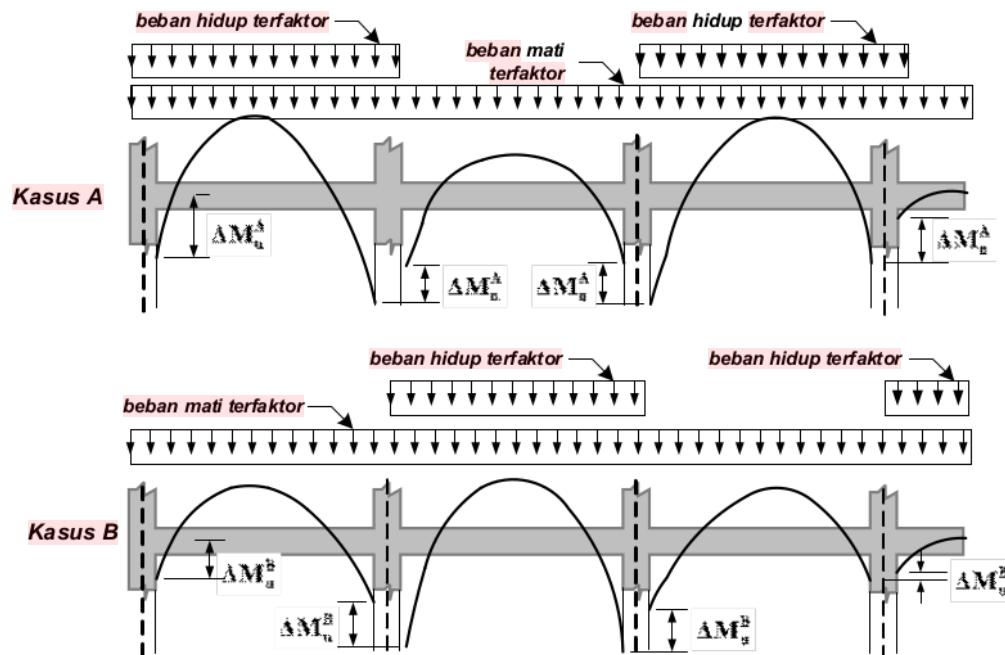
dengan V_u adalah gaya geser terfaktor dari 8.7.4; ℓ_s adalah bentang as ke as; dan ℓ_n adalah bentang bersih balok.

8.7.5.2 *Momen tak terbalans dari beban vertikal* — Reaksi momen pada kolom harus dievaluasi menggunakan momen terfaktor tak seimbang ΔM_u , yang disebabkan oleh beban vertikal terfaktor pada girder yang membentang dari kolom dalam bidang rangka. Momen tak terbalans tersebut harus didistribusikan ke kolom di atas dan di bawah girder secara proporsional terhadap kekakuan relatifnya. Untuk menghitung momen tak terbalans, (a), (b), dan (c) harus berlaku, atau analisis rangka yang sesuai dengan 8.1.2 harus dilakukan:

(a) Momen tak terbalans ΔM_u adalah selisih terbesar dalam momen negatif terfaktor girder pada kolom jika kasus beban (b) dan (c) dievaluasi

(b) Dalam kasus pertama (Kasus A Gambar 8.7.6.2), seluruh girder harus dibebani dengan beban mati terfaktor dan bentang-bentang ganjil secara berseling harus dibebani dengan beban hidup terfaktor.

(c) Dalam kasus ke dua (Kasus B Gambar 8.7.6.2), seluruh girder harus dibebani dengan beban mati terfaktor dan bentang-bentang genap secara berseling harus dibebani dengan beban hidup terfaktor.



Gambar 8.7.6.2 – Momen tak terbalans girder yang ditransfer ke kolom.

8.7.5.3 *Distribusi momen tak terbalans* — Untuk mendistribusikan momen tak terbalans ke kolom atau dinding di atas dan di bawah girder, (a) berlaku untuk joint atap, dan (b) sampai (d) berlaku untuk joint dengan kolom atas dan bawah, atau suatu analisis rangka yang sesuai dengan 8.1.2 harus dilakukan:

(a) Untuk joint atap (Tipe D, E, dan F Gambar 8.7.6.3), momen terfaktor kolom harus sesuai dengan ΔM_u

(b) Untuk joint dengan kolom atas dan bawah (Tipe A, B, dan C Gambar 8.7.6.3), momen tak terbalans harus didistribusikan ke kolom, atau dinding, di atasnya menggunakan Pers. (8.7.6.3a)

$$(M_u)_{up} = \Delta M_u \frac{(I_c/h_{pi})_{up}}{(I_c/h_{pi})_{up} + (I_c/h_{pi})_{down}} \quad (8.7.6.3a)$$

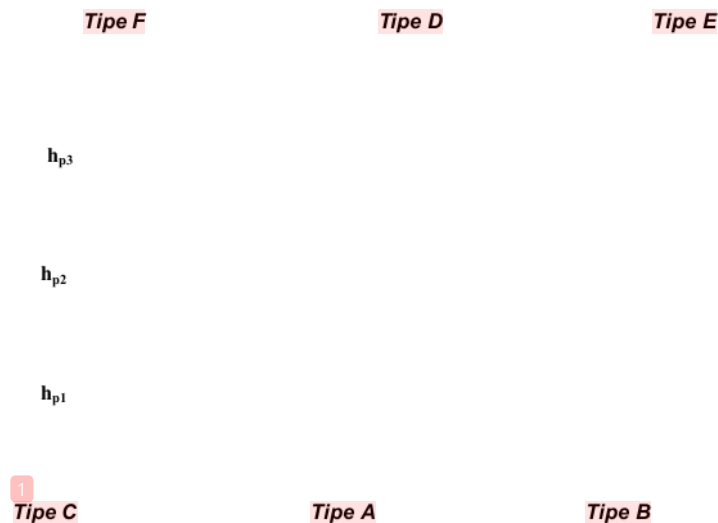
1 (c) Untuk joint dengan kolom atas dan bawah (Tipe A, B, dan C Gambar 8.7.6.3), momen tak terbalans harus didistribusikan ke kolom, atau dinding, di bawahnya menggunakan Persamaan (8.7.6.3b)

$$(M_u)_{down} = \Delta M_u \frac{(I_c/h_{pi})_{down}}{(I_c/h_{pi})_{up} + (I_c/h_{pi})_{down}} \quad (8.7.6.3b)$$

(d) Dalam Persamaan (8.7.6.3a) dan Persamaan (8.7.6.3b), I_c harus dihitung menggunakan Persamaan (8.7.6.3c) (Gambar 8.7.6.3).

$$I_c = \frac{b_c h_c^3}{12} \quad (8.7.6.3c)$$

dengan b_c adalah dimensi penampang kolom, atau dinding dalam arah tegak lurus bentang girder; h_c adalah dimensi penampang kolom, atau dinding dalam arah sejajar bentang girder; dan h_{pi} adalah ketinggian tingkat kolom atau dinding.



Gambar 8.7.6.3 – Jenis-jenis joint untuk penentuan momen kolom.

BAB 9 – SISTEM KOLOM SLAB

9.1 – Umum

Slab pada sistem kolom slab yang dijelaskan pada 6.1.4 harus didesain menggunakan Bab 9. Termasuk desain slab wafel yang sudah dijelaskan pada 6.1.4.5.

9.2 – Beban

9.2.1 *Beban yang diperhitungkan* — Beban layan untuk slab yang merupakan bagian dari sistem kolom slab harus ditetapkan dari Bab 4. Beban gravitasi yang harus dimasukkan dalam desain adalah:

(a) Beban mati: Berat sendiri slab, elemen nonstruktural datar, elemen nonstruktural berdiri, dan jika ada beban peralatan tetap.

(b) Beban hidup

(c) Jika slab adalah bagian dari sistem atap, nilai yang tepat dari beban hidup atap, beban hujan, dan beban salju harus digunakan

9.2.2 *Beban mati dan beban hidup* — Nilai q_d untuk beban mati harus mencakup berat slab lantai dan berat elemen nonstruktural horizontal dan vertikal seperti yang didefinisikan dalam 4.5.3. Nilai q_e untuk beban hidup harus ditentukan berdasarkan 4.6. Apabila slab merupakan bagian dari sistem atap, beban hidup atap ditetapkan pada 4.7, beban hujan pada 4.8, dan beban salju pada 4.9 harus dimasukkan, jika ada.

9.2.3 *Beban terfaktor* — Beban terfaktor q_u merupakan nilai terbesar yang ditentukan dengan menggunakan faktor-faktor beban dan kombinasi beban di 4.2.

9.3 – Batasan dimensi

9.3.1 *Umum* — Selain Bab 9, slab dalam sistem kolom slab harus memenuhi batas dimensi dalam 1.3, dan pembatasan 6.1.4 untuk sistem kolom slab.

9.3.2 *Setrip Kolom* — Setrip kolom adalah setrip desain dengan lebar di setiap sisi garis tengah kolom sama dengan nilai terkecil dari $\ell_2/4$ atau $\ell_1/4$ (Gambar 9.3.2). Di mana setrip berdekatan dan sejajar dengan tepi, lebar setrip kolom pada sisi eksternal harus sebesar jarak dari garis tengah kolom ke tepi, tanpa melebihi lebar sisi internal. Untuk slab wafel, setrip kolom terdiri dari semua joist yang menggunakan kapital kolom. Lihat 6.1.4.5 untuk jumlah minimum joist yang harus menggunakan kapital.

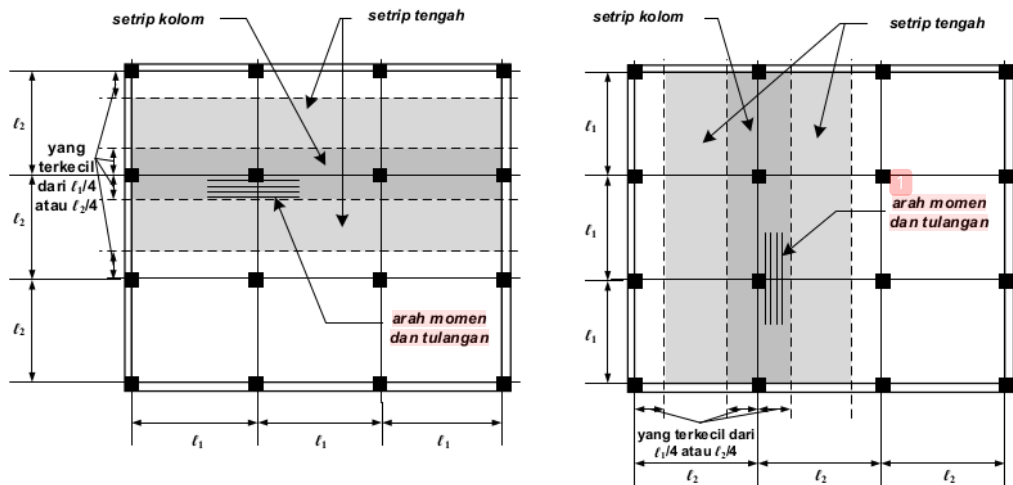
9.3.3 *Setrip Tengah* — Setrip tengah adalah setrip desain yang dibatasi oleh dua setrip kolom (Gambar 9.3.2).

9.3.4 *Definisi panel* — Panel dibatasi oleh kolom atau garis tengah dinding di semua sisi (Gambar 9.3.2).

9.3.5 *Tebal slab minimum* — Tebal slab minimum untuk memenuhi batas layan sistem kolom slab harus sesuai dengan 6.5.5.

9.3.6 *Pembatasan dimensi kolom* — Dalam sistem kolom slab, rasio dimensi kolom penampang panjang ke pendek tidak boleh lebih dari 2.

9.3.7 *Dimensi tumpuan dan bentang bersih* — Untuk sistem slab yang ditumpu oleh kolom atau dinding, bentang bersih harus diperluas dari sisi muka kolom, kapital kolom, brakit atau dinding.



Gambar 9.3.2 – Setrip Kolom dan Setrip Tengah.

9.3.8 Pembatasan lainnya — Sistem kolom slab harus memenuhi (a) sampai (f):

- Minimal tiga bentang menerus pada masing-masing arah struktur.
- Panel harus berbentuk persegi empat, dengan rasio bentang yang lebih panjang terhadap bentang yang lebih pendek di dalam panel yang tidak lebih besar dari 2.
- Panjang bentang berdekatan diukur dari titik pusat ke titik pusat tumpuan di setiap arah tidak boleh lebih kecil dari 80 persen panjang bentang yang lebih panjang, kecuali dalam lift dan tangga (1.3.6).
- Ofset pusat penampang kolom maksimum 10 persen dari bentang (dalam arah *offset*) dari sumbu antara garis pusat kolom yang berurutan.
- Semua pembebanan merupakan beban gravitasi dan didistribusikan secara merata ke seluruh panel.
- Beban hidup yang tidak terfaktor q_r tidak boleh melebihi dua kali beban mati yang tidak terfaktor q_d .

9.3.9 Saluran, lubang menerus (shafts), dan bukaan

9.3.9.1 Umum — Saluran, lubang menerus (*shaft*), dan bukaan pada slab harus sesuai dengan 9.3.9.2, 9.3.9.3, dan 9.3.9.4.

9.3.9.2 Bukaan pada setrip tengah — Bukaan dengan ukuran apa pun diizinkan di area yang umum berpotongan dengan setrip tengah, dengan syarat total luas tulangan di panel tanpa bukaan dipertahankan.

9.3.9.3 Bukaan pada setrip kolom — Di area yang umum berpotongan dengan setrip kolom, tidak lebih dari seperdelapan lebar setrip kolom di kedua bentang yang diperbolehkan terdapat bukaan. Luas tulangan yang ekuivalen dengan luas tulangan yang terputus oleh bukaan, harus ditambahkan pada sisi bukaan. Apabila suatu bukaan terletak di setrip kolom atau pada jarak kurang dari 10 kali tebal slab dari sisi muka tumpuan, atau dalam zona kapital pada sistem wafel, perimeter daerah kritis b_o yang ditentukan dalam 9.5.4.2 harus dimodifikasi dengan menghilangkan bagian dari perimeter tertutup oleh garis-garis lurus yang diproyeksikan dari titik pusat tumpuan ke garis singgung batas-batas lubang (Gambar 9.3.9.3).



Gambar 9.3.9.3 – Pengaruh bukaan (opening) pada slab.

9.3.9.4 Bukaan pada zona dekat setrip tengah dan setrip kolom — Di area yang dengan satu setrip kolom dan satu setrip tengah, tidak lebih dari seperempat tulan di kedua setrip diperbolehkan terdapat bukaan. Luas tulan yang ekuivalen dengan luas tulan yang terputus oleh bukaan, harus ditambahkan pada sisi bukaan.

9.3.10 Panel drop — Panel drop harus memenuhi batas dimensi 6.1.4.5 (Gambar 6.1.4.4d). Dalam perhitungan tulan slab, tebal panel drop di bawah slab tidak boleh diasumsikan lebih besar dari seperempat jarak dari tepi panel drop ke tepi kolom atau kapital kolom.

9.3.11 Sistem slab wafel — Joist, slab yang membentang di antara joist, dan kapital kolom dari sistem slab wafel dua arah harus memenuhi batas dimensi 6.1.3 dan 6.1.4.5.

9.4 – Detail penulangan

9.4.1 Umum — Penulangan slab untuk sistem kolom slab harus memenuhi tipe yang akan dijelaskan berikut dan harus memenuhi ketentuan 9.4, sebagai tambahan dari (a) sampai (f) (Gambar 9.4.1):

- Luas tulan slab di setiap arah harus ditentukan dari momen di bagian kritis, tetapi tidak boleh kurang dari tulan susut dan suhu di 7.3.3.
- Tulangan lentur harus sesuai dengan 7.3.4.
- Tulangan slab pada slab wafel di atas ruang seluler harus memenuhi 7.5.
- Joist pada sistem slab wafel harus sesuai dengan 8.4, tulan lentur, dan 8.5, tulan transversal.
- Tulangan joist pada slab wafel harus memenuhi 8.6.5 untuk joist yang terletak di setrip tengah dan 8.7.5 untuk joist yang terletak di setrip kolom.
- Tulangan pada slab wafel tidak harus memenuhi dengan 9.4.2 hingga 9.4.4.

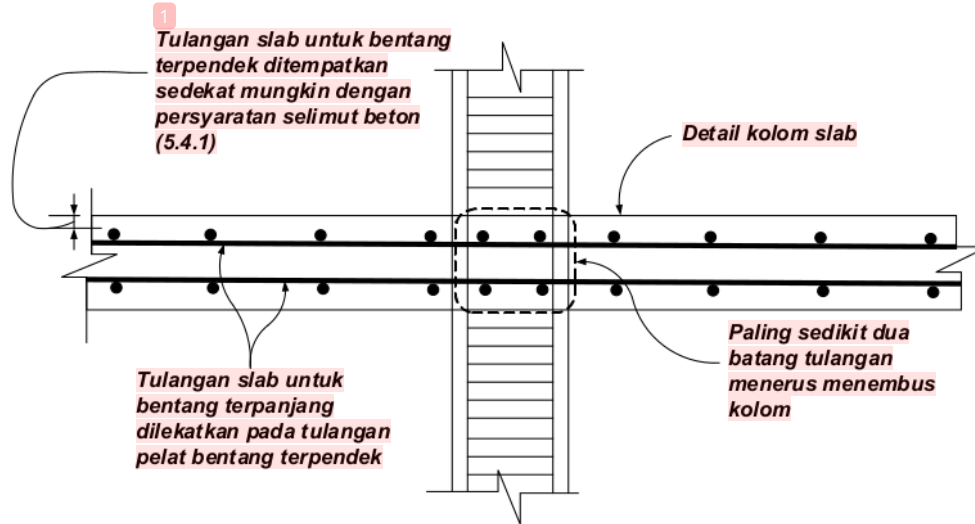
9.4.2 Penulangan momen positif

9.4.2.1 Penjelasan — Tulan momen positif harus disediakan di bagian bawah slab, seperti yang ditunjukkan pada Bab 9, dan harus memenuhi 9.4.2.

9.4.2.2 Lokasi — Tulan momen positif harus disediakan dalam kedua arah. Tulan momen positif harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan bawah slab sepraktis pada 5.4.1. Tulan lentur momen positif pada bentang pendek harus ditempatkan di bawah tulan lentur momen positif bentang panjang.

9.4.2.3 Luas tulan minimum — Tulan momen positif harus memiliki luas setidaknya sama dengan luas yang ditentukan oleh 7.3.3.4.

9.4.2.4 Luas tulan maksimum — Luas tulan momen positif tidak boleh melebihi nilai pada 7.3.3.3.



Gambar 9.4.1 – Detail penulangan slab.

9.4.2.5 Spasi tulangan maksimum — Tulangan momen positif pada bagian kritis tidak boleh berjarak lebih besar dari dua kali tebal slab.

9.4.2.6 Titik pemotongan — Semua tulangan bawah pada setrip kolom, di setiap arah, harus menerus atau disambung sesuai dengan 5.8.2 di lokasi yang ditunjukkan pada Gambar. 9.4.2.6. Setidaknya dua tulangan bawah setrip kolom di setiap arah harus melewati inti kolom. Pada setrip tengah di tumpuan interior, setengah dari tulangan momen positif yang diperlukan untuk menahan momen positif terfaktor terkait di tengah bentang boleh diputus di lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 9.4.2.6.

9.4.2.7 Tulangan splais — Tulangan momen positif menerus dapat dilakukan splais lewatan antara titik pemotongan dan sisi berlawanan dari tumpuan.

9.4.2.8 Pembenaman pada tumpuan interior — Tulangan momen positif terputus pada tumpuan interior harus diperpanjang ke sisi berlawanan dari tumpuan.

9.4.2.9 Tulangan angkur ujung — Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap tepi yang terputus harus diperpanjang ke tepi pelat dan harus berhenti pada kait standar.

9.4.3 Penulangan momen negatif

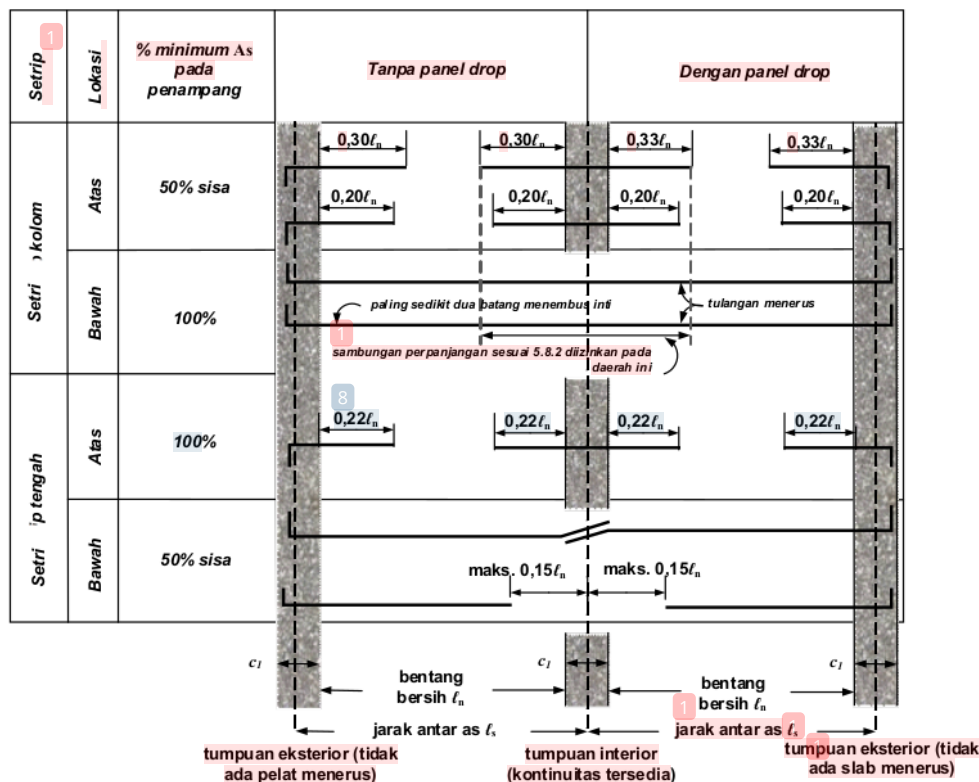
9.4.3.1 Penjelasan — Tulangan momen negatif harus disediakan dalam jumlah dan panjang yang sesuai dengan Bab 9 dan harus sesuai dengan 9.4.3.

9.4.3.2 Lokasi — Tulangan momen negatif harus disediakan dalam kedua arah di tumpuan. Tulangan lentur momen negatif harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan atas slab sepraktis selimut beton pada 5.4.1. Tulangan lentur momen negatif bentang pendek harus ditempatkan di atas tulangan lentur momen negatif bentang panjang.

9.4.3.3 Luas tulangan minimum — Tulangan momen negatif harus memiliki luas setidaknya sama dengan luas yang ditentukan oleh 7.3.3.4.

9.4.3.4 Luas tulangan maksimum — Luas tulangan momen negatif tidak boleh melebihi nilai dalam 7.3.4.3.

9.4.3.5 Spasi tulangan maksimum — Tulangan momen negatif pada bagian kritis tidak boleh berjarak lebih besar dari dua kali tebal slab.



Gambar 9.4.2.6 – Panjang minimum penulangan slab pada sistem kolom slab.

9.4.3.6 Titik pemotongan — Semua tulangan momen negatif, kecuali pada kantilever, boleh diputus di lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 9.4.2.6. Jika bentang yang berdekatan tidak sama, titik pemotongan tulangan lentur momen negatif harus berdasarkan pada bentang yang lebih panjang.

9.4.3.7 Tulangan splais — Tidak diperkenankan untuk melakukan splais lewatan pada tulangan momen negatif di antara titik pemotongan dan tumpuan.

9.4.3.8 Pengankuran ujung tulangan — Tulangan momen negatif yang tegak lurus terhadap tepi terputus harus diangkur dengan kait standar ke tepi. Pada tepi eksternal kantilever, tulangan lentur momen negatif yang tegak lurus terhadap tepi harus diakhiri dengan kait standar. Jika dibatasi oleh geometri, kait ujung tidak perlu diletakkan secara vertikal.

9.4.4 Penulangan geser — Prosedur desain untuk slab solid tidak termasuk penggunaan tulangan geser pada slab. Prosedur untuk desain tulangan geser pada slab solid berada di luar cakupan panduan ini dan harus menggunakan SNI 2847, SNI 1726 dan SNI 1727 dalam kasus tersebut. Diizinkan menggunakan tulangan geser akibat geser aksi balok di joist slab wafel.

9.4.5 Nilai d_c dan d yang digunakan pada sistem kolom slab — Perhitungan jarak dari serat tarik ekstrem ke sentroid tulangan tarik, d_c , harus mempertimbangkan selimut beton dari 5.4, diameter tulangan, dan keberadaan tulangan pada arah tegak lurus yang ditempatkan di antara tulangan yang dipertimbangkan dan permukaan beton. Nilai d_c berikut ini dapat digunakan untuk menghitung d dengan $d = h - d_c$. Untuk tulangan pada arah bentang panjang panel slab, $d_c = 2,2$ in. (55 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 3$ in. (75 mm) untuk eksposur eksterior. Untuk tulangan pada arah bentang pendek panel slab, $d_c = 1,6$ in. (40 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 2,4$ in. (60 mm) untuk eksposur eksterior. Untuk joist yang merupakan bagian dari wafel slab, $d_c = 2$ in. (50 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 2,4$ in. (60 mm) untuk eksposur eksterior. Lihat 9.3.10 untuk zona slab ketika terdapat panel drop.

9.4.6 Penulangan slab pada zona seismik — Sistem kolom slab tidak boleh digunakan di zona seismik kecuali jika sistem struktural diperkaku oleh dinding struktural beton bertulang yang bekerja pada kedua arah utama. Pada zona seismik, tulangan slab juga harus memenuhi Bab 11.

9.5 Kuat Geser

9.5.1 Umum — Dalam sistem kolom slab, perhitungan kekuatan desain dari slab yang dikenai beban geser harus dilakukan menggunakan 9.5. Dua jenis efek gaya geser terjadi di sekitar tumpuan dan beban terpusat:

- (a) Geser pons atau geser dua arah
- (b) Geser aksi balok yang disertai momen lentur

9.5.2 Kekuatan geser perlu — Gaya geser terfaktor V_u (Kekuatan geser perlu) pada slab yang disebabkan oleh beban terfaktor pada struktur harus ditentukan dari 9.6.2 dan 9.7.2

9.5.3 Kekuatan geser desain — Kekuatan geser desain pada penampang komponen, ϕV_n , harus sama dengan atau lebih besar dari geser terfaktor, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (9.5.3) dengan $\phi = 0.75$.

$$\phi V_n = \phi V_c \geq V_u \quad (9.5.3)$$

9.5.4 Geser aksi dua arah (geser pons) pada slab solid dan fondasi

9.5.4.1 Umum — Kekuatan geser untuk geser dua arah, atau geser pons, harus diperiksa pada tepi kolom, beban terpusat, dan tumpuan, dan pada perubahan tebal seperti tepi kapital kolom dan panel drop.

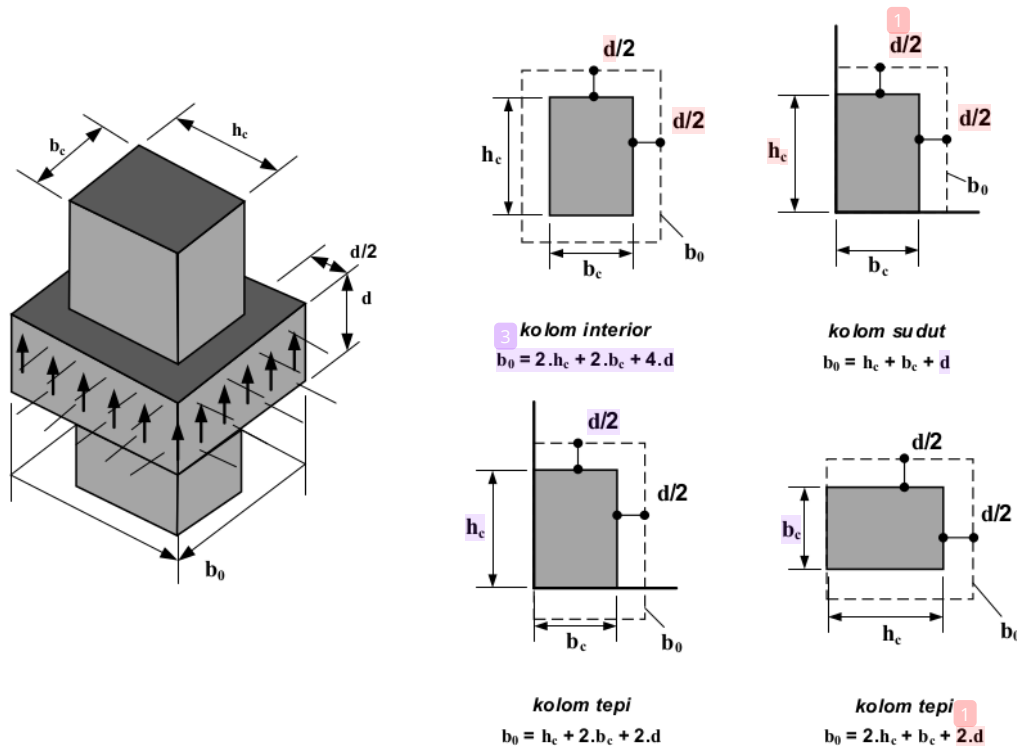
9.5.4.2 Definisi penampang kritis pada geser dua arah — Setiap penampang kritis yang diperiksa perlu diketahui sehingga perimeter b_o seperti yang didefinisikan pada Gambar 9.5.4.2 tetapi tidak perlu mendekati lebih kecil dari jarak $d/2$ ke tepi atau sudut kolom dan untuk perubahan tebal slab, seperti tepi dari kapital kolom dan panel drop.

9.5.4.3 Kekuatan geser aksi dua arah — Kekuatan geser harus sesuai nilai yang ditentukan dari Persamaan (9.5.4.3) dengan $\phi = 0.75$

$$\phi V_n = \phi V_c = \phi \lambda_{ps} 4 \sqrt{f'_c} b_o d$$

$$\left(\phi V_n = \phi V_c = \phi \lambda_{ps} \frac{\sqrt{f'_c}}{3} b_o d \text{ (SI)} \right) \quad (9.5.4.3)$$

Dengan λ_{ps} diambil sebesar: 1,0 untuk $b_o d \leq 20$; 0,75 untuk $20 < b_o d \leq 40$; dan 0,5 untuk $40 < b_o d$.

Gambar 9.5.4.2 – Definisi b_o .

9.5.4.4 Efek dari transfer momen ke joint kolom slab — Transfer momen tak terbalans yang didefinisikan dalam 9.8.1.7 meningkatkan geser pons yang bekerja pada slab. Peningkatan geser pons akibat transfer momen pada sumbu utama manapun dari tumpuan harus diabaikan dengan rasio momen tak terbalans terfaktor terhadap geser terfaktor tidak melebihi $0,2d$, dengan d adalah ketinggian efektif slab. Jika rasio ini terlampaui, (a), (b), dan (c) harus dipenuhi:

(a) Untuk sambungan kolom sudut yang mentransfer momen dalam kedua arah utama dan untuk sambungan kolom tepi yang mentransfer momen tak terbalans hanya tegak lurus ke tepi slab, sambungan harus diasumsikan memiliki kekuatan geser pons yang memadai ketika gaya geser terfaktor V_u tidak melebihi $0,75\phi V_c$, dengan ϕV_c ditentukan dari Persamaan (9.5.4.3).

(b) Untuk sambungan kolom interior dan kolom tepi yang mentransfer momen secara bersamaan dalam dua arah utama, geser terfaktor akibat momen tak terbalans, ΔV_u , ditambahkan ke geser V_u terfaktor. ΔV_u harus dihitung dengan Persamaan (9.5.4.4) menggunakan momen tak terbalans di kedua arah:

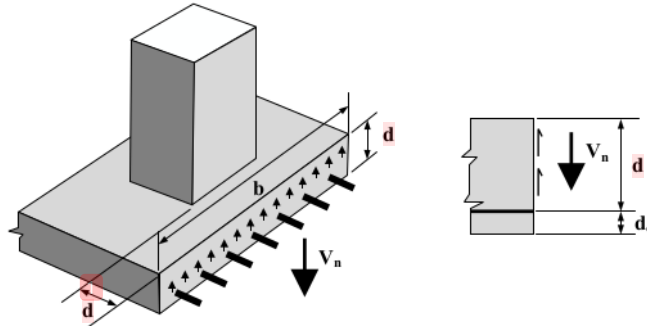
$$\Delta V_u = \alpha_{sh} \left(\frac{\Delta M_{u1} + \Delta M_{u2}}{b_o} \right) \quad (9.5.4.4)$$

Sambungan kolom interior dan tepi harus diasumsikan memiliki geser pons yang memadai ketika total geser faktor, $(V_u + \Delta V_u)$, tidak melebihi ϕV_c yang ditentukan dari Persamaan (9.5.4.3), dengan ΔV_u dari Persamaan (9.5.4.4) dihitung menggunakan $\alpha_{sh} = 5$ untuk sambungan kolom interior dan $\alpha_{sh} = 3,5$ untuk sambungan kolom tepi. Untuk sambungan kolom tepi, momen tegak lurus ke tepi slab dapat diambil sama dengan nol pada Persamaan. (9.5.4.4) jika V_u tidak melebihi $0.75 \phi V_c$, dengan ϕV_c ditentukan dari Persamaan (9.5.4.3).

(c) Detail-detail 9.8.1.8 untuk tulangan longitudinal yang menahan momen tak terbalans harus dipenuhi.

1 **9.5.5 Geser aksi balok** — Bagian antara muka tumpuan dan jarak d dari tumpuan harus direncanakan untuk geser terfaktor V_u yang dihitung pada d . Kekuatan geser pada setiap lokasi kritis yang akan diperiksa harus dihitung menggunakan Persamaan (9.5.5) dengan $\phi = 0.75$ (Gambar 9.5.5).

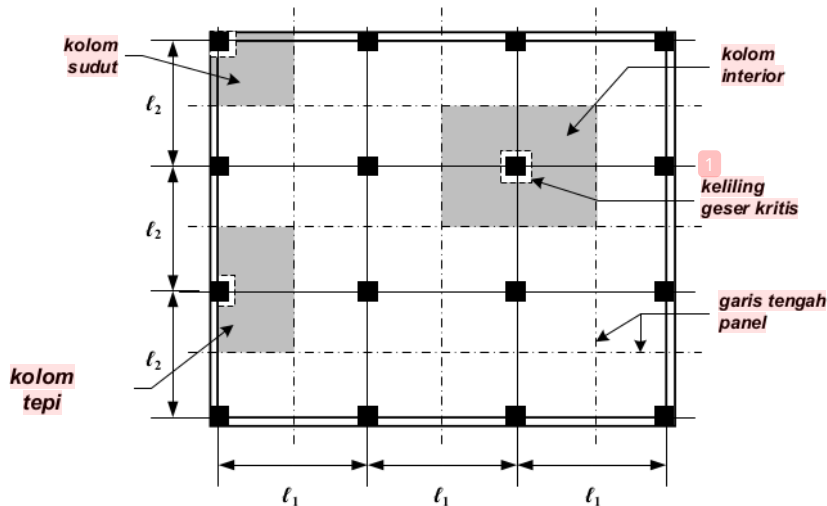
$$\phi V_c = \phi 2\sqrt{f'_c}bd \quad \left(\phi V_c = \phi \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] bd \text{ (SI)} \right) \quad (9.5.5)$$



Gambar 9.5.5 – Kuat geser aksi balok pada slab solid.

9.6 – Tebal slab minimum yang diperlukan untuk geser pons

9.6.1 Kekuatan geser pons perlu — Geser pons terfaktor V_u harus ditentukan sebagai nilai dari total beban terfaktor q_u yang dikalikan dengan area yang dibatasi oleh garis tengah panel di sekitar kolom, dikurangi area yang ditentukan oleh perimeter geser kritis (Gambar 9.6.1).



1 **Gambar 9.6.1 – Area tributari untuk geser pons.**

9.6.2 Tebal minimum slab — Kekuatan geser pons tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan dari Persamaan. (9.5.4.3) yang dimodifikasi untuk transfer momen tak terbalans seperti yang ditunjukkan oleh 9.5.4.4. Tinggi efektif slab harus dihitung dari Persamaan. (9.6.2a) sampai Persamaan. (9.6.2d), dengan h_c untuk dimensi panjang dan b_c untuk dimensi pendek dari kolom dan $\phi = 0,75$. Jika panel drop digunakan, h_c dan b_c berlaku untuk dimensi panel drop. Dalam sistem slab wafel, perhitungan untuk geser pons hanya diperlukan di zona kritis di kapital kolom.

Untuk kolom interior

$$d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{V_u}{\phi 6\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)} \quad (9.6.2a)$$

$$\left(d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{2V_u}{\phi\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)} \text{ (SI)} \right)$$

1 Untuk kolom tepi dengan h_c sejajar dengan tepi

$$d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + 2b_c}{4}\right)^2 + \frac{V_u}{\phi 6\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + 2b_c}{4}\right)} \quad (9.6.2b)$$

$$\left(d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + 2b_c}{4}\right)^2 + \frac{2V_u}{\phi\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + 2b_c}{4}\right)} \text{ (SI)} \right)$$

1 Untuk kolom tepi dengan b_c sejajar dengan tepi

$$d \geq \sqrt{\left(\frac{2h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{V_u}{\phi 6\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{2h_c + b_c}{4}\right)} \quad (9.6.2c)$$

$$\left(d \geq \sqrt{\left(\frac{2h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{2V_u}{\phi\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{2h_c + b_c}{4}\right)} \text{ (SI)} \right)$$

Untuk kolom sudut

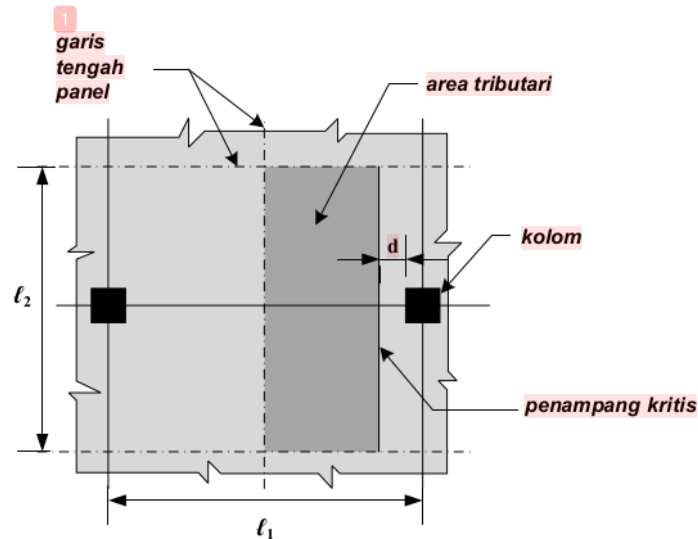
$$d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{2}\right)^2 + \frac{V_u}{\phi 3\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + b_c}{2}\right)} \quad (9.6.2d)$$

$$\left(d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{2}\right)^2 + \frac{4V_u}{\phi\sqrt{f'_c}} - \left(\frac{h_c + b_c}{2}\right)} \text{ (SI)} \right)$$

9.7 – Tebal slab minimum yang diperlukan untuk aksi balok

9.7.1 Umum — Desain untuk kekuatan geser aksi balok dari penampang slab harus dievaluasi dengan 9.5 sebelum mendesain slab terhadap beban lentur. Kekuatan geser untuk geser aksi balok harus diperiksa pada jarak d dari muka kolom, beban terpusat dan tumpuan.

9.7.2 Kuat geser perlu — Geser aksi balok terfaktor V_u harus ditentukan sebagai total beban terfaktor q_u dikalikan dengan luas yang dibatasi oleh garis tengah panel kolom dan garis pada jarak d dari muka kolom (Gambar 9.7.2).



Gambar 9.7.2 – Area tributari untuk geser aksi balok.

9.7.3 Tebal slab minimum yang diperlukan untuk geser aksi balok

9.7.3.1 Slab solid — Tinggi efektif minimum d yang terkait dengan geser aksi balok, harus ditentukan dengan menggabungkan Persamaan. (9.5.3) dengan Persamaan. (9.5.4.3), dan penyelesaian untuk menentukan d

$$d \geq \frac{V_u}{\phi \ell_2 2 \sqrt{f'_c}} \quad (9.7.3.1)$$

$$\left(d \geq \frac{6V_u}{\phi \ell_2 \sqrt{f'_c}} \text{ (SI)} \right)$$

dengan $\phi = 0.75$. Nilai d yang digunakan merupakan nilai d terbesar yang ditentukan untuk semua arah pada semua kolom (interior, tepi, dan sudut). Jika bagian kritis memotong dan melintasi zona dengan dan tanpa panel drop, maka nilai rata-rata dari d harus digunakan.

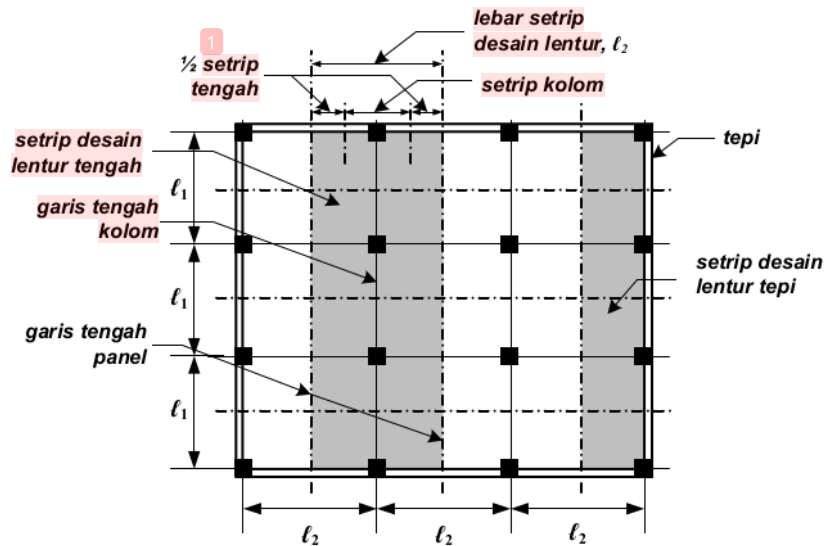
9.7.3.2 Slab wafel — Pada slab wafel, dimensi melintang (bukan ℓ_2) dari kapital kolom yang harus digunakan dalam Persamaan (9.7.3.1). Potongan kritis tambahan ada pada muka kapital kolom dan menggunakan ketentuan untuk joist di 8.5 dan 8.6 dengan bentang bersih sama dengan jarak bersih antara muka kapital. Kontribusi tulangan geser joist dapat dimasukkan dalam kekuatan geser aksi balok dari joist yang diikutsertakan ke kapital kolom.

9.8 – Lentur

9.8.1 Kuat lentur perlu

9.8.1.1 Umum — Momen-momen terfaktor harus dihitung dengan mengikuti (a) sampai (f):

- Slab dibagi menjadi setrip desain di kedua arah.
- Setiap setrip termasuk kolom atau garis tengah tumpuan dan dibatasi oleh garis tengah panel di setiap sisi (Gambar 9.8.1.1a).



Gambar 9.8.1.1a – Definisi dari setrip desain.

(c) Jika setrip berdekatan dan sejajar dengan tepi pelat, kolom tepi atau garis tengah tumpuan ikut diperhitungkan dan harus dibatasi oleh tepi pelat di satu sisi dan garis tengah panel di sisi lainnya (Gambar 9.8.1.1).

(d) Total momen terfaktor harus dihitung menurut 9.8.1.2 (Gambar 9.8.1.1b dan 9.8.1.1c) untuk semua bentang pada semua setrip di kedua arah.

(e) Total momen terfaktor harus dibagi menjadi momen positif dan negatif menggunakan 9.8.1.3 (Gambar 9.8.1.1b dan 9.8.1.1c) dan didistribusikan ke setrip kolom menggunakan 9.8.1.4, dan ke dua setengah setrip tengah menggunakan 9.8.1.5 (Gambar 9.8.1.1b dan 9.8.1.1c).

9.8.1.2 Jumlah momen terfaktor — Jumlah absolut momen terfaktor positif dan negatif rata-rata dalam sebuah nentang harus dihitung dari Persamaan (9.8.1.2).

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad (9.8.1.2)$$

Dalam Persamaan. (9.8.1.2), (a) sampai (f) harus diikuti:

(a) Apabila bentang melintang pada sebuah panel di kedua sisi garis tengah tumpuan bervariasi, ℓ_2 dalam Persamaan. (9.8.1.2) harus diambil sebagai rata-rata bentang melintang yang berdekatan.

(b) Ketika bentang berdekatan dan sejajar dengan tepi slab, jarak dari tepi ke garis tengah panel harus diganti untuk ℓ_n dalam Persamaan. (9.8.1.2).

(c) Bentang bersih ℓ_n harus membentang dari muka ke muka kolom, kapital kolom, brakit, atau dinding.

(d) Nilai ℓ_n tidak boleh kurang dari $0,65\ell_1$.

(e) Tumpuan dengan penampang berbentuk bundar atau berbentuk poligon beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan persegi empat dengan luas yang sama.

(f) Redistribusi momen negatif dan positif terfaktor sebesar 10 persen diizinkan, asalkan jumlahnya tetap sama.

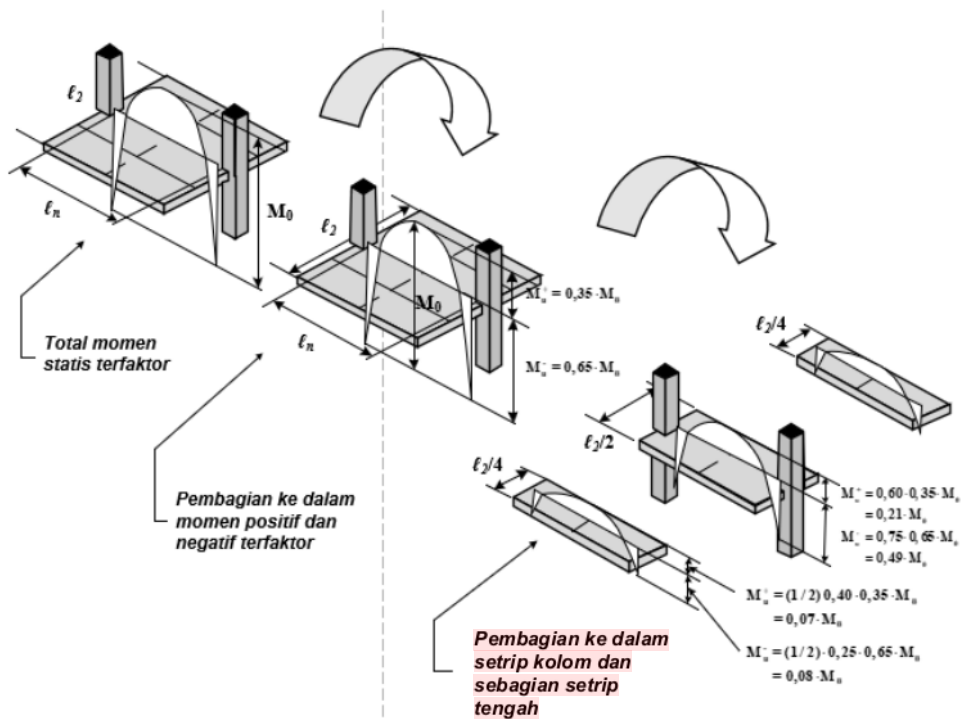
9.8.1.3 *Momen positif dan negatif terfaktor* — Momen negatif terfaktor harus ditempatkan di muka tumpuan berpenampang persegi empat. Tumpuan dengan penampang berbentuk bundar harus diperlakukan sebagai tumpuan persegi empat dengan luas yang sama. Dalam bentang interior, total momen terfaktor M_0 harus didistribusikan sebagai berikut:

- (a) Momen terfaktor negatif: $0,65M_0$
- (b) Momen terfaktor positif: $0,35M_0$.

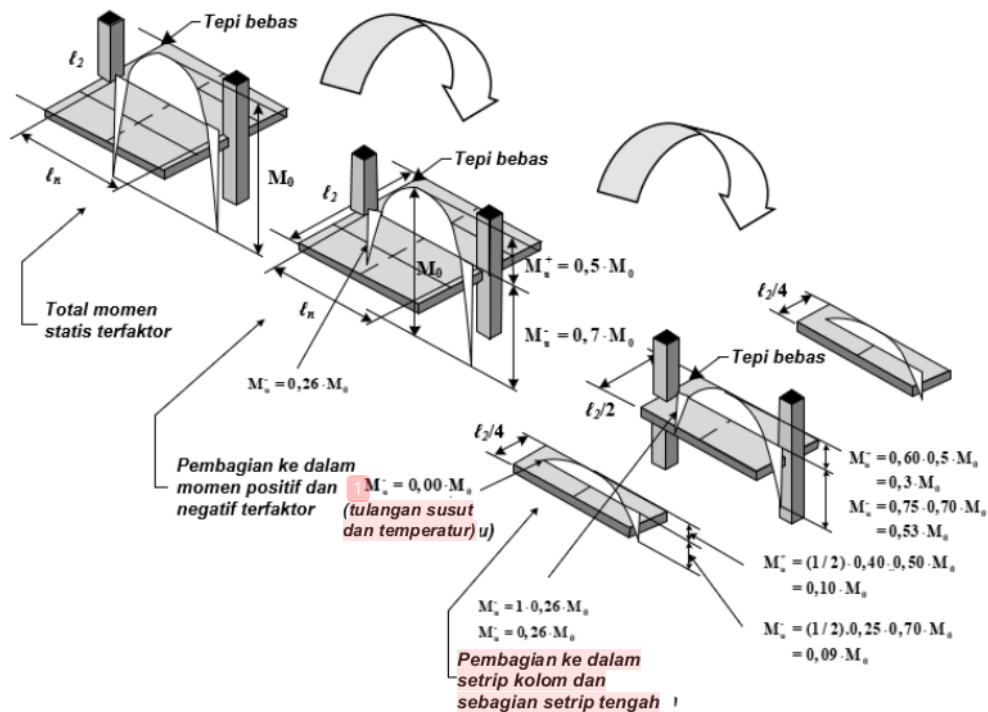
Dalam bentang ujung, total momen yang difaktorkan M_0 harus didistribusikan sebagai berikut:

- (a) Momen terfaktor negatif interior: $0,70M_0$
- (b) Momen terfaktor positif: $0,50M_0$
- (c) Momen terfaktor negatif eksterior: $0,30M_0$

Tulangan momen negatif harus direncanakan untuk menahan yang lebih besar dari dua momen terfaktor negatif yang ditentukan untuk bentang yang menyusun tumpuan yang umum.



Gambar 9.8.1.1b – Momen terfaktor: bentang interior.



Gambar 9.8.1.1c – Momen terfaktor: bentang eksterior.

9.8.1.4 Momen terfaktor pada setrip kolom — Setrip kolom harus proporsional untuk menahan bagian momen yang ditentukan dalam 9.8.1.3 berikut:

- Momen terfaktor negatif interior: 75 persen
- Momen terfaktor positif: 60 persen
- Momen terfaktor negatif eksterior: 100 persen

Jika lebar kolom atau tumpuan dinding memanjang dengan jarak yang sama dengan atau lebih besar dari tiga perempat panjang bentang l_2 yang digunakan untuk menghitung M_0 , momen negatif harus dipertimbangkan terdistribusi secara seragam di seluruh l_2 .

9.8.1.5 Momen terfaktor pada setrip tengah — Bagian dari momen terfaktor negatif dan positif yang tidak ditahan oleh setrip kolom harus ditetapkan ke setrip tengah yang sesuai. Setiap setrip tengah harus proporsional untuk menahan jumlah dari dua momen yang ditetapkan. Setrip tengah yang bersebelahan dan sejajar dengan tepi dan ditumpu oleh dinding harus proporsional untuk menahan dua kali momen yang ditetapkan pada setengah setrip tengah berdekatan dari baris pertama tumpuan interior.

9.8.1.6 Kantilever — Kantilever dari slab solid harus direncanakan sesuai dengan 7.6, dan joist sistem wafel harus direncanakan sesuai dengan 8.6.

9.8.1.7 Momen tak terbalans — Momen tak terbalans terfaktor ΔM_u harus diambil sebesar $0,3M_0$ pada tumpuan tepi dan untuk tumpuan interior, diambil sebesar perbedaan momen negatif setrip kolom dari bentang interior yang berdekatan ditambah nilai tambahan, ΔM_{u-ad} , yang ditentukan dari Persamaan (9.8.1.7)

$$\Delta M_{u-ad} = \frac{q_f l_2 l_n^2}{14} \quad (9.8.1.7)$$

dengan ℓ_n adalah yang terbesar dari bentang bersih yang berdekatan, dan q_e adalah beban hidup layan.

9.8.1.8 Transfer momen tak terbalans ke tumpuan — Transfer momen yang tidak seimbang ΔM_u dari 9.8.1.7 pada sambungan kolom slab hanya melalui kelenturan di slab, jika (a) hingga (d) dipenuhi (9.5.4.4):

(a) Lebar transfer untuk menahan momen tak terbalans dalam lentur harus diasumsikan sebagai satu dan satu-setengah tebal panel slab atau panel drop, $1,5h$, di luar permukaan berlawanan dari kolom atau kapital kolom.

(b) Tulangan setrip kolom momen negatif pada lebar transfer tersebut harus memadai untuk menahan ΔM_u dengan memperkecil jarak antar tulangan atau menambah tulangan.

(c) Rasio tulangan momen negatif ρ dalam lebar transfer tidak boleh melebihi tiga perempat q_{max} dari 7.3.4.3.

(d) Peningkatan geser pons yang bekerja pada slab dievaluasi menggunakan prosedur 9.5.4.4 (9.6).

9.8.2 Penulangan lentur longitudinal pada slab solid pada sistem kolom slab

9.8.2.1 Tulangan momen positif — Di kedua arah, tentukan rasio tulangan momen positif ρ menggunakan nilai M_u^+ yang ditentukan dari 9.8.1 (Gambar 9.8.1.1b dan 9.8.1.1c) untuk setrip yang ditinjau. Untuk momen positif di setrip kolom, lebar setrip b harus seperti yang didefinisikan dalam 9.3.2. Untuk momen positif dalam setengah setrip tengah di setiap sisi, lebar setrip harus konsisten dengan lebar yang digunakan untuk mendistribusikan momen seperti ditunjukkan oleh 9.8.1.5. Tulangan momen positif harus sesuai dengan 9.4.2 (Gambar 9.4.2.6).

9.8.2.2 Tulangan momen negatif — Di kedua arah, rasio tulangan momen negatif ρ dalam arah bentang harus ditentukan dengan menggunakan nilai M_u^- ditentukan dari 9.8.1 (Gambar 9.8.1.1b dan 9.8.1.1c) untuk setrip yang ditinjau. Untuk momen negatif pada setrip kolom, lebar setrip b harus seperti yang didefinisikan dalam 9.3.2. Untuk momen negatif dalam setengah setrip tengah di setiap sisi, lebar setrip harus konsisten dengan lebar yang digunakan untuk mendistribusikan momen seperti ditunjukkan oleh 9.8.1.5. Tulangan momen negatif harus sesuai dengan 9.4.3 (Gambar 9.4.2.6). Pada setrip kolom di tumpuan, transfer momen tak terbalans dari 9.8.1.7 dan 9.8.1.8 harus dipenuhi. Untuk lebar setrip yang tidak sama bertemu pada tumpuan, tulangan dari masing-masing sisi mengakibatkan rasio tulangan momen negatif yang lebih besar ρ harus digunakan.

9.8.3 Tulangan joist pada sistem slab wafel

9.8.3.1 Tulangan momen positif joist pada slab wafel — Momen positif yang digunakan untuk menghitung tulangan untuk setiap joist harus ditentukan dengan menggunakan nilai M_u^+ dari 9.8.1, dibagi dengan jumlah joist dalam setrip yang ditinjau. Efek balok-T seperti ditunjukkan pada 8.4.10 dapat digunakan. Tulangan momen positif harus sesuai dengan 8.6.5.1, kecuali bahwa pemutusan tulangan harus sesuai dengan 9.4.2.

9.8.3.2 Tulangan momen negatif joist pada slab wafel — Momen negatif yang digunakan untuk menghitung tulangan untuk setiap joist harus ditentukan dengan menggunakan nilai M_u^- dari 9.8.1, dibagi dengan jumlah joist dalam setrip yang ditinjau. Tulangan momen negatif harus sesuai dengan 8.6.5.2, kecuali bahwa pemutusan tulangan harus sesuai dengan 9.4.3.

9.8.3.3 Tulangan geser joist pada slab wafel — Nilai V_u pada tumpuan harus ditentukan menggunakan 9.7.3.2. Tulangan geser harus sesuai dengan 8.5, 9.5.5, dan 9.7.3.2. Spasi sengkang s harus ditentukan untuk daerah yang berbeda dalam bentang tersebut. Spasi sengkang minimum yang ditunjukkan oleh 8.5.2.3 harus digunakan. Sengkang pertama tidak boleh ditempatkan lebih jauh dari $s/2$ dari muka tumpuan, dengan s adalah spasi sengkang pada tumpuan.

9.9 – Perhitungan reaksi tumpuan

9.9.1 Reaksi vertikal pada kolom dan dinding — Reaksi vertikal pada kolom dan dinding — Reaksi vertikal komponen tumpuan, R_u , harus ditentukan sebagai total beban desain terfaktor q_u dikalikan luas yang dibatasi oleh garis tengah panel di sekeliling komponen tumpuan (Gbr. 9.6.1).

9.9.2 Momen pada kolom dan dinding akibat beban vertikal — Kolom dan dinding merupakan satu kesatuan dengan sistem slab harus menahan momen tak terbalans yang diakibatkan oleh beban terfaktor pada sistem slab. Momen tak terbalans ΔM_u harus ditentukan dengan 9.8.1.7, dan harus didistribusikan ke kolom di atas dan di bawah slab menggunakan prosedur 8.7.6.3.

1 BAB 10 – KOLOM

10.1 – Umum

Kolom didesain menggunakan ketentuan pada Bab 10. Bab ini mencakup komponen yang ditulangi dengan tulangan longitudinal dan pengikat serta komponen yang ditulangi dengan tulangan longitudinal dan spiral menerus. Penampang yang ditinjau adalah penampang persegi dan penampang bundar.

10.2 – Pembebanan

10.2.1 Pembebanan yang ditinjau — Kolom yang termasuk pada struktur rangka ataupun sistem kolom slab, menahan beban tributari dari setiap lantai ditambah berat sendiri dari kolom. Beban tributari dapat merujuk ke Bab 4 dan pembebanan tertentu dari setiap jenis komponen tributari dapat dilihat (pada Gambar 10.2.1a dan Gambar 10.2.1b).

10.2.2 Beban mati dan beban hidup — Beban mati P_d dan beban hidup P_ℓ perlu diakumulasikan terpisah dan dikombinasikan pada setiap lantai. P_d yang dimaksud termasuk berat sendiri dari kolom. Berat sendiri perlu menggunakan faktor beban mati yang sesuai dengan persamaan beban kombinasi pada 4.2.1. Berat sendiri bekerja pada bagian bawah kolom pada lantai yang bersangkutan.

10.2.3 Kuat perlu — Beban terfaktor P_u dan momen terfaktor M_u ditentukan di bagian atas dan bawah dari setiap kolom pada di setiap lantai. Arah pada denah di mana momen M_{ux} dan M_{uy} bekerja perlu diperhatikan. (Gambar 10.2.1b)

10.3 – Batasan dimensi

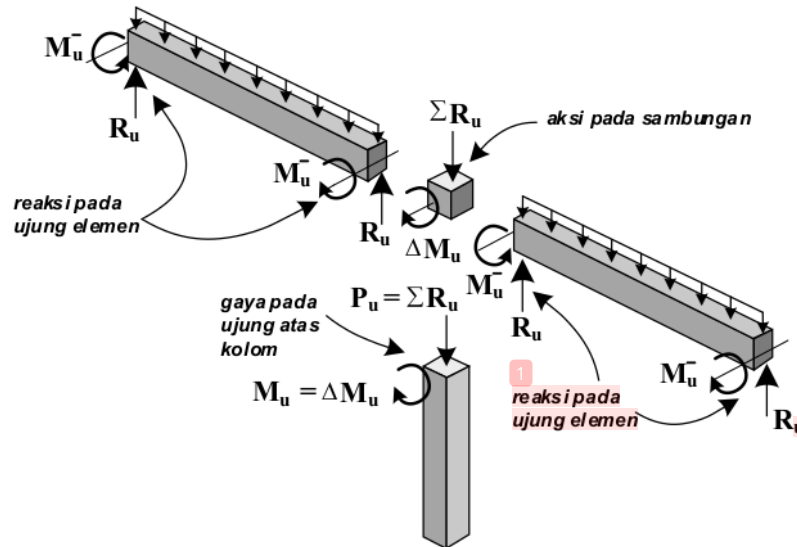
10.3.1 Umum — Tambahan pada Bab 10, kolom perlu sesuai dengan batasan dimensi umum yang telah ditetapkan pada 1.3. Kolom dipasang vertikal dan menerus ke bawah hingga fondasi. Bentuk potongan penampang kolom harus persegi atau bundar.

10.3.2 Pembatasan dimensi

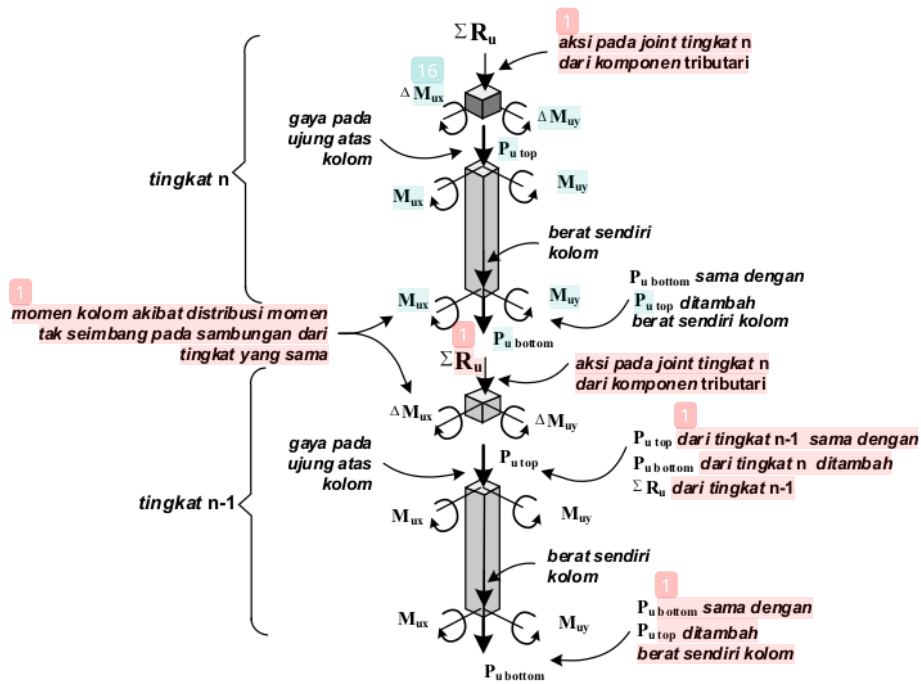
10.3.2.1 Dimensi potongan penampang minimum untuk kolom persegi—Dimensi potongan penampang untuk kolom persegi perlu sesuai dengan syarat (a) dan (b) (Gambar 10.3.2.1).

(a) Dimensi terkecil potongan penampang tidak boleh kurang dari 10 in. (250 mm).

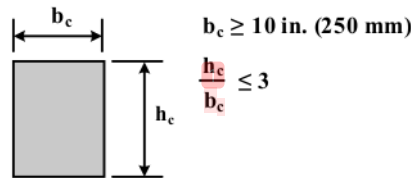
(b) Rasio dimensi panjang terhadap dimensi pendek pada potongan penampang tidak boleh lebih dari 3, kecuali pada sistem kolom slab, rasio tidak boleh melebihi 2.



Gambar 10.2.1a – Beban dan momen kolom terfaktor dari lantai tunggal satu arah.

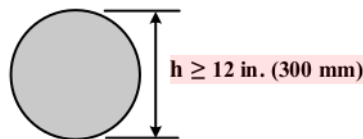


Gambar 10.2.1b – Momen dan beban kolom terfaktor pada lantai berganda.



Gambar 10.3.2.1 – Ukuran minimum potongan penampang untuk kolom persegi.

10.3.2.2 Dimensi potongan penampang minimum untuk kolom bundar — Kolom dengan potongan penampang bundar tidak boleh kurang dari 12 in. (300 mm) (Gambar 10.3.2.2)

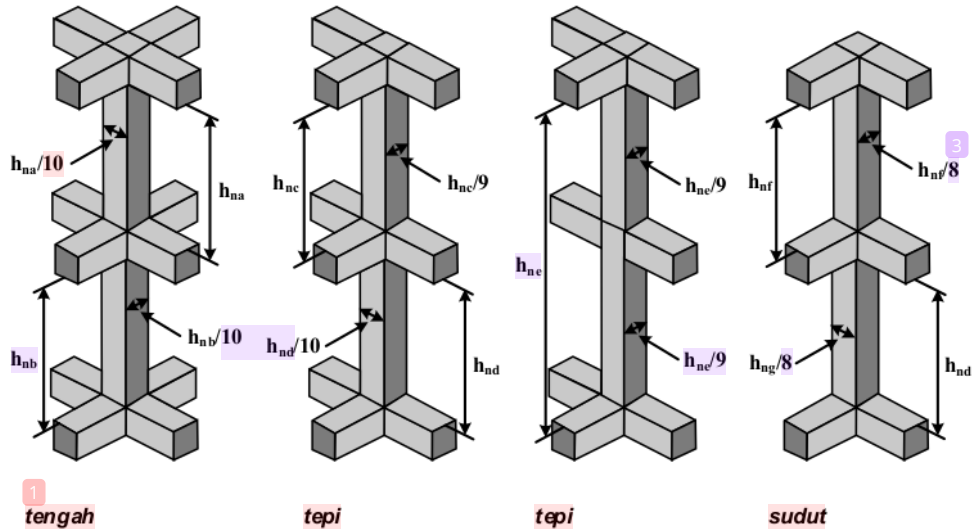


Gambar 10.3.2.2 – Ukuran minimum potongan penampang untuk kolom bundar.

10.3.3 Jarak diantara tumpuan lateral

10.3.3.1 Umum — Perlu diasumsikan bahwa sistem lantai menyediakan tahanan lateral kolom pada arah horizontal pada seluruh lantai. (Gambar 10.3.3.1)

10.3.3.2 Kolom interior — Untuk kolom interior, dimensi potongan penampang kolom yang parallel terhadap arah tumpuan tidak boleh kurang dari 1/10 dari jarak vertikal bersih antara tumpuan lateral, h_n (Gambar 10.3.3.1).

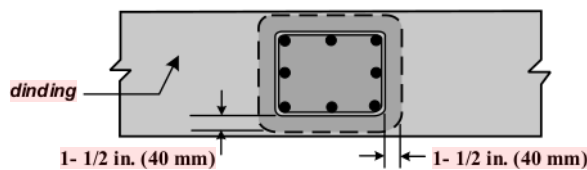


Gambar 10.3.3.1 – Tahanan lateral untuk kolom.

10.3.3.3 Kolom tepi — Pada kolom tepi, dimensi penampang kolom yang tegak lurus terhadap tepi tidak boleh kurang dari sepersepuluh dari jarak vertikal bersih antara tumpuan lateral, h_n (Gbr. 10.3.3.1). Dimensi penampang kolom minimum harus seperdelapan dari jarak vertikal bersih antara tumpuan lateral, h_n (Gambar 10.3.3.1).

10.3.3.4 Kolom sudut — Pada kolom sudut, dimensi penampang kolom minimum harus seperdelapan dari jarak vertikal bersih antara tumpuan lateral, h_n (Gambar 10.3.3.1).

10.3.4 Kolom monolit dengan dinding — Penampang efektif dari kolom dengan tulangan pengikat atau spiral yang monolit dengan dinding beton harus diambil tidak lebih besar dari 1 1/2 in. (40 mm) di luar tulangan pengikat atau spiral atau muka dinding lateral (Gambar 10.3.4).



Gambar 10.3.4 – Potongan penampang efektif kolom monolit dengan dinding.

10.4 – Detail Tulangan

10.4.1 Umum — Tulangan kolom harus dari jenis yang diuraikan dalam Bab 10 dan harus memenuhi 10.4.2 hingga 10.4.4.

10.4.2 Tulangan longitudinal

10.4.2.1 Deskripsi dan lokasi — tulangan longitudinal harus disediakan di keliling penampang kolom. Tulangan longitudinal harus ditempatkan sedekat mungkin dengan permukaan lateral kolom seperti pada penjelasan tulangan transversal dan selimut beton (5.4.1 dan 10.4.2.13). Luas tulangan longitudinal harus memadai untuk menahan aksi simultan dari beban aksial terfaktor dan momen terfaktor yang bekerja pada dua sumbu utama kolom (Gambar 10.2.1b).

10.4.2.2 Luas minimum dan maksimum tulangan longitudinal — Total luas tulangan longitudinal kolom, A_{st} , tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,06 kali luas kotor penampang A_g . Panduan ini membatasi rasio tulangan longitudinal kolom menjadi 6 persen karena kekhawatiran kongesti tulangan.

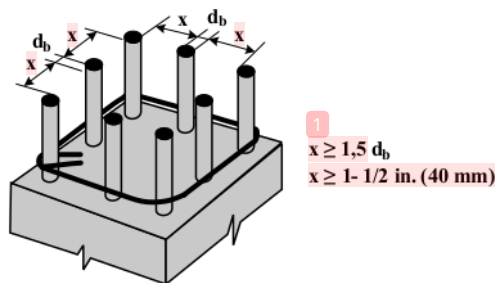
$$0,01 \leq \rho_\ell \left(= \frac{A_{st}}{A_g} \right) \leq 0,06 \quad (10.4.2.2)$$

10.4.2.3 Diameter minimum tulangan longitudinal — Diameter minimum tulangan longitudinal di kolom harus 5/8 in. (16 mm).

10.4.2.4 Jumlah minimum tulangan longitudinal — Pada kolom bujur sangkar dan persegi panjang dengan pengikat, diperlukan minimum empat tulangan (setidaknya satu tulangan longitudinal di setiap sudut), dan dalam kolom bundar dengan spiral, diperlukan minimal enam tulangan longitudinal.

10.4.2.5 Distribusi tulangan longitudinal — Jarak tulangan longitudinal kolom sepanjang semua muka kolom harus kurang lebih sama.

10.4.2.6 Jarak bersih minimum antara tulangan longitudinal — Jarak bersih antara tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ atau 1-1/2 in (40 mm) (Gambar 10.4.2.6).



Gambar 10.4.2.6 – Jarak bersih antara tulangan longitudinal pada kolom.

10.4.2.7 Jarak bersih antara splais lewatan paralel — Batasan bentang bersih antara tulangan berlaku pada jarak bersih antara kontak splais lewatan dan splais-splais atau tulangan yang berdekatan.

10.4.2.8 Splais pada tulangan — Sampai setengah dari tulangan longitudinal di bagian mana pun dapat dilakukan splais lewatan selama splais lewatan tersebut dilakukan bergantian dan ditempatkan sepanjang perimeter potongan penampang (Gambar 10.4.2.8a dan 10.4.2.8b). Praktik ini mengurangi kongesti tulangan dan memberikan daktilitas kolom yang baik di lokasi lewatan. Splais lewatan dari tulangan longitudinal harus memenuhi 5.8.2.1.

10.4.2.9 Pengangkuran ujung tulangan — Tulangan longitudinal di ujung atas kolom dan pada fondasi harus memanjang sedekat mungkin dengan tepi dengan mempertimbangkan selimut beton dan diakhiri dengan kait standar.

10.4.2.10 Ofset tulangan longitudinal — Ofset bengkok dari tulangan longitudinal harus sesuai dengan (a) sampai (g):

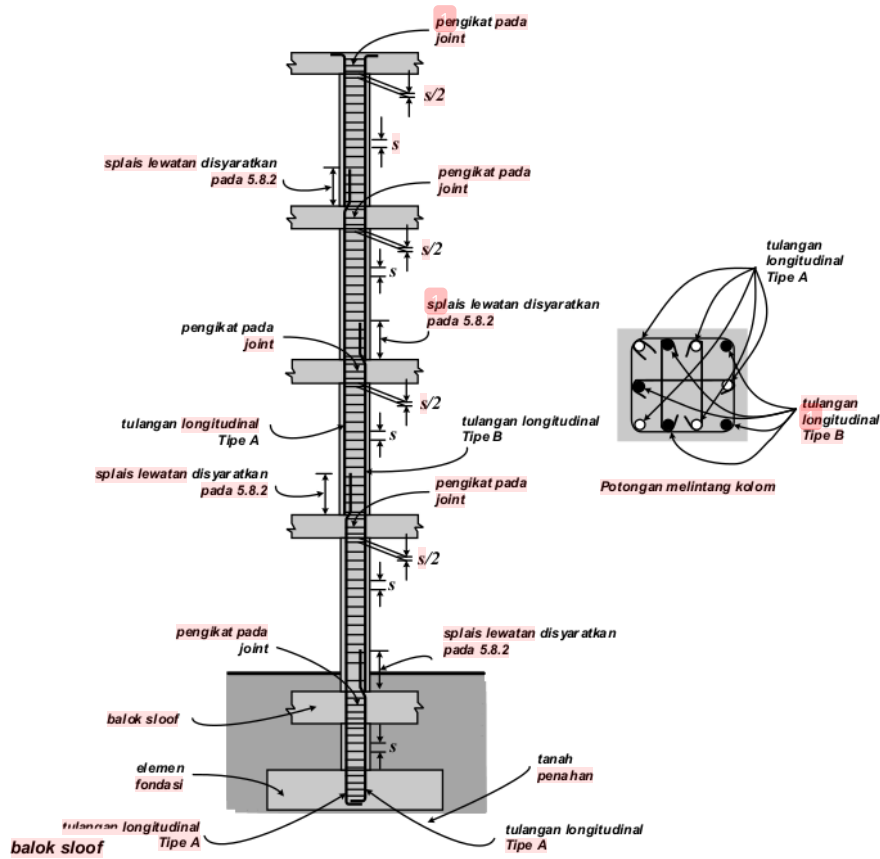
- (a) Kemiringan tulangan ofset tidak boleh melebihi 1 banding 6 (Gambar 10.4.2.10).
- (b) Bagian tulangan yang terdapat di atas dan di bawah ofset harus sejajar dengan sumbu kolom.

SNI 8900:2020

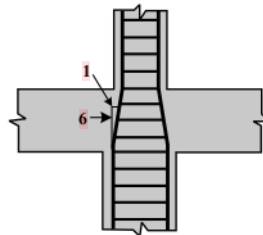
- (c) Pengikat atau spiral lateral harus disediakan pada bungkakan offset.
- (d) Bungkakan offset pengikat atau spiral lateral harus menahan 1,5 kali komponen gaya horizontal dari tulangan offset yang dihitung dengan asumsi tegangan sama dengan f_y .
- (e) Pengikat atau spiral lateral harus ditempatkan tidak lebih dari 6 in. (150 mm) dari titik bungkakan.
- (f) Tulangan offset harus dibungkakan sebelum penempatan dalam cetakan.
- (g) Apabila muka kolom mengalami offset dari kolom di bawahnya lebih dari seperenam dari tinggi girder atau slab, atau 3 in. (75 mm), tulangan longitudinal offset tidak boleh dibungkakan. Dowel terpisah, splais lewatan dengan tulangan longitudinal yang berdekatan dengan muka kolom offset, harus disediakan. Splais lewatan harus sesuai dengan 5.8.2.1.



Gambar 10.4.2.8a – Susunan penulangan kolom tipikal.



Gambar 10.4.2.8b – Susunan penulangan kolom tipikal pada zona seismik tinggi.



Gambar 10.4.2.10 – Offset tulangan longitudinal.

10.4.2.11 Jumlah maksimum tulangan longitudinal di sisi kolom persegi panjang — Penghitungan jumlah maksimum tulangan longitudinal pada sisi kolom harus mempertimbangkan diameter tulangan longitudinal dan transversal, selimut beton (5.4), ukuran agregat kasar nominal maksimum, dan jarak bersih minimum antar tulangan. Apabila perhitungan ini tidak dilakukan, (a) dan (b) harus digunakan:

(a) Untuk dimensi kolom b_c lebih besar dari 12 in. (300 mm), jumlah maksimum tulangan pada sisi kolom harus ditentukan menggunakan Persamaan (10.4.2.11)

$$\text{Jumlah maksimum tulangan per sisi} \leq \frac{b_c}{3} \left(\frac{b_c}{75} \right) (SI) \quad (10.4.2.11)$$

dengan b_c dalam inci (mm) (Tabel 10.4.2.11).

© BSN 2020

(b) Maksimal tiga tulangan longitudinal harus digunakan pada sisi kolom dengan dimensi b_c kurang dari atau sama dengan 12 inci (300 mm) (Tabel 10.4.2.11).

Tabel 10.4.2.11 – Jumlah maksimum tulangan longitudinal di setiap sisi kolom persegi panjang

Dimensi kolom b_c in. (mm)	Jumlah maksimum tulangan longitudinal
$b_c < 10$ in. (250 mm)	Penampang tidak diizinkan
10 in. (250 mm) $\leq b_c < 12$ in. (300 mm)	Tiga tulangan
12 in (300 mm) $\leq b_c$	$\leq b_c / 3$ [$\leq b_c / 75$ (SI)] tulangan

10.4.2.12 Jumlah maksimum tulangan longitudinal pada kolom bundar — Penghitungan jumlah maksimum tulangan longitudinal pada kolom bundar harus mempertimbangkan selimut beton (5.4), ukuran agregat kasar nominal maksimum, jarak bersih minimum antar tulangan, dan diameter tulangan longitudinal dan transversal. Apabila perhitungan ini tidak dilakukan, jumlah maksimum tulangan harus ditentukan menggunakan Persamaan (10.4.2.12), dengan h adalah diameter kolom (Tabel 10.4.2.12).

$$\leq h - 6 \left(\leq \frac{h}{25} - 6 \text{ (SI)} \right) \quad (10.4.2.12)$$

dengan h adalah diameter kolom (Tabel 10.4.2.12).

Tabel 10.4.2.11 – Jumlah maksimum tulangan longitudinal di kolom bundar

Dimensi kolom b_c in. (mm)	Jumlah maksimum tulangan longitudinal
$h < 12$ in. (300 mm)	Penampang tidak diizinkan
12 in. (300 mm) $\leq h$	$\leq h - 6 \left(\leq \frac{h}{25} - 6 \text{ (SI)} \right)$ tulangan

10.4.2.13 Nilai d_c dan d pada kolom — Penghitungan d_c harus mempertimbangkan selimut beton (5.4) dan diameter tulangan longitudinal dan transversal.

Nilai-nilai berikut dapat digunakan untuk kolom: $d_c = 2,5$ in (60 mm) untuk eksposur interior, dan $d_c = 3$ in. (75 mm) untuk eksposur eksterior.

10.4.3 Tulangan transversal

10.4.3.1 Umum — Kolom harus memiliki tulangan pengikat atau spiral yang masing-masing sesuai dengan 10.4.3.2 atau 10.4.3.3. Kolom yang terletak di zona seismik harusnya memiliki tulangan transversal seperti yang ditunjukkan pada Bab 11. Pada joint balok kolom, jumlah minimum pengikat harus seperti yang ditunjukkan dalam 10.4.3.4.

10.4.3.2 Pengikat pada zona nonseismik — Senggang pengikat kolom harus sesuai dengan (a) sampai (e):

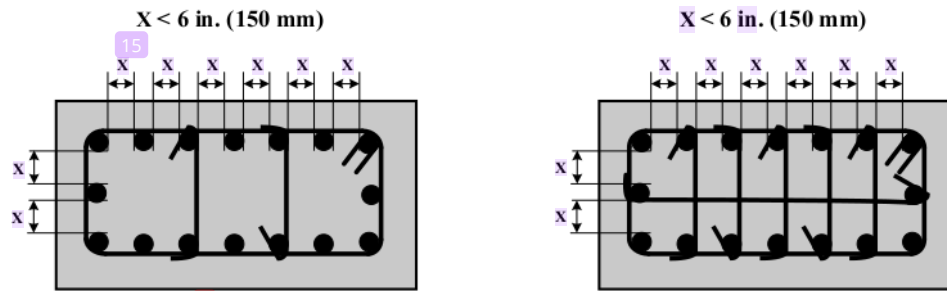
(a) Semua tulangan longitudinal kolom harus ditutup oleh pengikat lateral. Diameter tulangan sengkang minimum harus 3/8 in. (10 mm).

(b) Pengikat harus diatur sehingga setiap sudut dan tulangan longitudinal alternatif harus memiliki tumpuan lateral yang disediakan oleh sudut dari pengikat atau pengikat lintas (Gambar 10.4.3.2a).

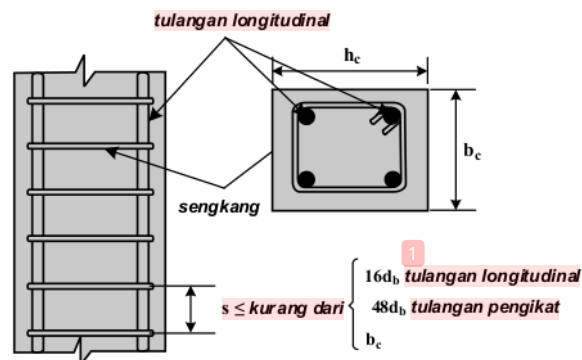
(c) Sepanjang pengikat, tidak boleh terdapat tulangan longitudinal lebih besar dari 6 in. (150 mm) bersih dari tulangan longitudinal yang ditumpu secara lateral (Gambar 10.4.3.2a).

(d) Spasi vertikal pengikat, s , tidak boleh melebihi paling sedikit dari 16 diameter tulangan longitudinal, 48 diameter tulangan pengikat, dan dimensi terkecil dari penampang kolom (Gambar 10.4.3.2b).

(e) Pengikat pertama harus ditempatkan setengah jarak di atas bagian atas slab, balok, atau fondasi, dan sengkang paling atas harus ditempatkan tidak lebih dari setengah spasi sengkang di bawah tulangan horizontal terendah dari komponen terbawah yang ditumpu di atas .



Gambar 10.4.3.2a – Susunan horizontal sengkang.



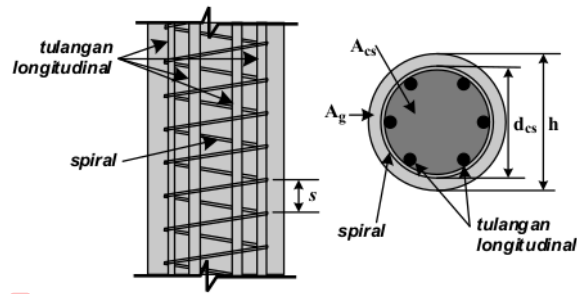
Gambar 10.4.3.2b – Spasi vertikal sengkang.

10.4.3.3 Spiral — Kolom spiral harus memenuhi (a) sampai (f):

- Semua tulangan kolom longitudinal harus ditutup oleh spiral yang terdiri dari tulangan menerus yang berjarak sama. Diameter tulangan spiral minimum harus 3/8 in. (10 mm).
- Spasi vertikal bersih antara spiral tidak boleh melebihi 3 in. (75 mm), juga tidak boleh kurang dari 1 in. (25 mm), dan harus sesuai dengan 5.7.
- Spiral harus memiliki 1,5 putaran ekstra pada setiap ujung unit spiral.
- Splais dalam spiral harus sesuai dengan 5.8.2 dan diakhiri dengan pengait yang diarahkan ke inti kolom.
- Spiral harus membentang dari atas fondasi atau slab ke tulangan horizontal terendah dari komponen terbawah yang ditumpu di atas. Pada kolom dengan kapital, spiral harus memanjang ke suatu level yang diameter atau lebar kapital kolom sebesar dua kali lipat dari lebar kolom.
- Rasio tulangan spiral ρ_s , didefinisikan sebagai rasio volume tulangan yang terdapat dalam satu loop (putaran) spiral terhadap volume beton dalam kolom yang dikekang oleh loop (putaran) spiral yang sama, harus tidak kurang dari nilai yang diberikan oleh Persamaan (10.4.3.3) (Gambar 10.4.3.3).

$$\rho_s = \frac{A_b \pi (d_{cs} - d_b)}{A_{cs} s} \geq 0,45 \left[\frac{A_g}{A_{cs}} - 1 \right] \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (10.4.3.3)$$

dengan A_b adalah luas tulangan spiral atau kawat; d_b adalah diameter tulangan spiral atau kawat; d_{cs} adalah diameter luar spiral; s adalah spasi vertikal dari spiral; A_{cs} adalah luas inti kolom terkekang diukur dari diameter luar spiral $A_{cs} = \pi d_{cs}^2 / 4$; A_g adalah luas kotor penampang kolom; f_c' adalah kekuatan tekan beton terspesifikasi; dan f_{yt} adalah kekuatan leleh tulangan transversal terspesifikasi.

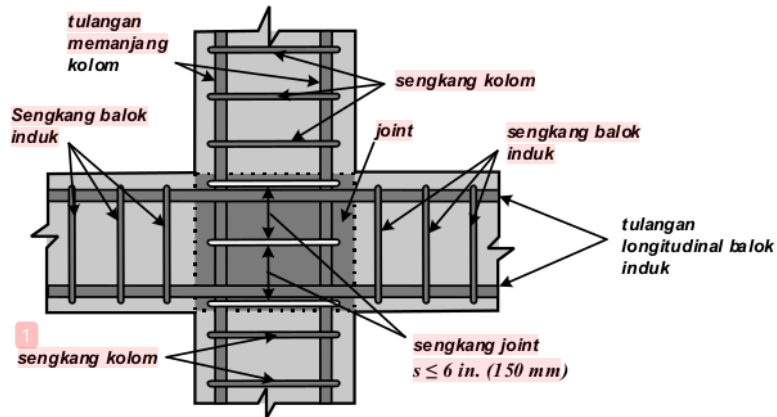


Gambar 10.4.3.3 – Penulangan spiral pada kolom.

10.4.3.4 Joint kolom girder — Pada joint kolom girder dari struktur rangka, minimal tiga pengikat kolom harus disediakan dalam joint dengan spasi vertikal maksimum antar pengikat sebesar 6 in. (150 mm) (Gambar 10.4.3.4).

10.4.3.5 Kait pengikat — Semua pengikat kolom harus memiliki kait 135 derajat (5.6). Pengikat silang dengan kait 135 derajat di satu ujung dan 90 derajat di ujung lainnya dapat digunakan. Pengikat silang berturut-turut yang melibatkan tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat di sisi kolom yang berlawanan.

10.4.3.6 Pesplaisan kaki pengikat — Pengikat kolom tidak boleh displais lewatan.



Gambar 10.4.3.4 – Pengikat kolom pada joint kolom girder.

10.4.4 Tulangan kolom di zona seismik — Pada kolom yang merupakan bagian dari rangka penahan momen yang terletak di zona seismik, tulangan juga harus memenuhi Bab 11. Kolom yang merupakan bagian dari kerangka kolom slab di zona seismik juga harus memenuhi Bab 11.

10.5 – Lentur

10.5.1 Beban dan momen terfaktor — Beban aksial terfaktor P_u dan momen terfaktor M_u , pada bagian yang dipertimbangkan, harus didasarkan pada 10.2.

10.5.2 Dimensi potongan penampang percobaan dan tulangan longitudinal

10.5.2.1 Dimensi potongan penampang percobaan — Dimensi potongan penampang percobaan harus ditetapkan sebagai berikut:

- (a) Luas potongan penampang percobaan A_g harus ditentukan dari Persamaan (10.5.2.1a).

$$A_g \approx \frac{2(P_u)_{max}}{f_c'} \quad (10.5.2.1a)$$

(b) Untuk penampang persegi panjang, dimensi terkecil b_c harus memenuhi 10 in. (250 mm)

$$b_c \begin{cases} \geq 10 \text{ in. (250 mm)} \\ \geq h_c/3 \\ \geq h_n/10 \text{ untuk kolom tengah} \\ \geq h_n/9 \text{ untuk kolom tepi} \\ \geq h_n/8 \text{ untuk kolom sudut} \end{cases} \quad (10.5.2.1b)$$

(c) Untuk penampang persegi panjang, dimensi terbesar h_c harus memenuhi 10 in. (250 mm)

$$h_c \begin{cases} \geq 10 \text{ in. (250 mm)} \\ \geq 3b_c \\ \geq h_n/10 \text{ untuk kolom tengah} \\ \geq h_n/9 \text{ untuk kolom tepi} \\ \geq h_n/8 \text{ untuk kolom sudut} \end{cases} \quad (10.5.2.1c)$$

(d) Untuk kolombundar, diameter h harus memenuhi 12 in. (300 mm)

$$h \begin{cases} \geq 12 \text{ in. (300 mm)} \\ \geq h_n/10 \text{ untuk kolom tengah} \\ \geq h_n/9 \text{ untuk kolom tepi} \\ \geq h_n/8 \text{ untuk kolom sudut} \end{cases} \quad (10.5.2.1d)$$

10.5.2.2 Tulangan longitudinal percobaan — Luas tulangan longitudinal percobaan, A_{st} , harus ditetapkan sebagai berikut:

(a) Untuk penampang persegi panjang, luas tulangan longitudinal percobaan, A_{st} , harus mematuhi

$$A_{st} \geq \begin{cases} 0,01A_g \\ 4(A_b)_{min} \end{cases} \quad (\text{Merujuk ke 10.4.2.3}) \quad (10.5.2.2a)$$

(b) Untuk penampang bundar, luas tulangan longitudinal percobaan, A_{st} , harus mematuhi

$$A_{st} \geq \begin{cases} 0,01A_g \\ 6(A_b)_{min} \end{cases} \quad (\text{Merujuk ke 10.4.2.3}) \quad (10.5.2.2b)$$

10.5.3 Kekuatan momen perlu — Diagram interaksi untuk dimensi kolom dan tulangan harus dihitung di kedua arah menggunakan 5.12. Kekuatan momen desain di kedua arah harus dihitung menggunakan 5.12.6. Di mana momen terfaktor M_u pada beban aksial terfaktor P_u melebihi kekuatan momen desain, luas tulangan longitudinal harus ditingkatkan tanpa melampaui luas tulangan maksimum yang diizinkan oleh 10.4.2.2 atau jumlah maksimum tulangan di setiap sisi kolom dengan 10.4.2.11 atau 10.4.2.12. Jika batas 10.4.2.2, 10.4.2.11, atau 10.4.2.12 terlampaui, tambahkan dimensi kolom. Verifikasi ini harus dilakukan di bagian kolom atas dan bawah dari lantai yang sama.

10.5.4 Kekuatan momen biaksial — Setelah tulangan kolom dihitung untuk kedua arah secara independen, kekuatan momen biaksial harus dihitung menggunakan 5.12.8 pada bagian atas dan bawah kolom dari lantai yang sama.

10.6 – Geser

10.6.1 Kekuatan geser perlu — Geser terfaktor M_u harus ditentukan dari beban vertikal dan beban horizontal menggunakan kombinasi beban dari 4.2.

10.6.1.1 *Geser terfaktor dari beban vertikal* — Geser terfaktor yang diakibatkan oleh beban vertikal harus ditentukan dari Persamaan (10.6.1.1) untuk setiap arah horizontal

$$V_u = \frac{(M_u)_{top} + (M_u)_{bottom}}{h_n} \quad (10.6.1.1)$$

Dengan $(M_u)_{top}$ sesuai dengan momen terfaktor pada ujung atas kolom; $(M_u)_{bottom}$ sesuai dengan momen terfaktor pada ujung bawah kolom; dan h_n adalah jarak bersih antara tumpuan lateral kolom.

10.6.1.2 *Geser terfaktor dari beban horizontal* — Geser terfaktor V_u yang diakibatkan oleh beban horizontal harus ditentukan dari beban horizontal yang dijelaskan pada Bab 4 dan diterapkan pada struktur sebagaimana ditentukan dalam Bab 11 menggunakan kombinasi beban yang sesuai dari 4.2.

10.6.2 Kekuatan geser desain

10.6.2.1 *Umum* — Kekuatan geser desain harus sama atau melebihi geser balok-aksi terfaktor, yang menyertai momen kolom dan terjadi pada kedua arah horizontal, yang memiliki nilai konstan pada jarak bersih antar lantai.

10.6.2.2 *Kekuatan geser* — Kekuatan geser penampang kolom ϕV_n harus ditentukan mengikuti prosedur pada 5.13.4 untuk geser balok-aksi menggunakan Persamaan (10.6.2.2).

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (10.6.2.2)$$

Dalam Persamaan (10.6.2.2), ϕV_c adalah kekuatan geser beton; ϕV_s adalah kekuatan geser tulangan transversal; dan $\phi = 0,75$.

10.6.2.3 *Kontribusi beton terhadap kekuatan geser* — Kontribusi beton terhadap kekuatan geser harus dihitung menggunakan Persamaan (10.6.2.3) dengan $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 2\sqrt{f_c'}bd \\ \left(\phi V_c &= \phi \frac{\sqrt{f_c'}}{6} bd \text{ (SI)} \right) \end{aligned} \quad (10.6.2.3)$$

Dalam Persamaan (10.6.2.3), d harus diambil sebagai nilai yang sesuai, berdasarkan h_c atau b_c , dalam arah geser dan b dalam arah normal ke geser. Dalam kolom bundar, hasil b dikali d harus diambil sebagai $0,8h$, dengan h sebagai diameter kolom.

10.6.2.4 *Kontribusi tulangan transversal terhadap kekuatan geser* — Kekuatan geser tulangan transversal harus dihitung di setiap arah menggunakan Persamaan (10.6.2.4). Kekuatan geser desain harus berdasarkan pada Persamaan (5.13.3) dan Persamaan (10.6.2.2). Bilamana Persamaan (5.13.3) tidak terpenuhi, spasi sengkang s harus dikurangi.

$$\phi V_s = \phi \left[\frac{A_v f_{yt} d}{s} \right] \quad (10.6.2.4)$$

dengan A_v sesuai dengan luas kaki sengkang yang sejajar dengan arah geser dan s adalah jarak vertikal ikatan terbesar dalam ketinggian bersih kolom; f_{yt} adalah kekuatan leleh dari kaki sengkang; dan $\phi = 0,75$. Untuk tulangan sengkang bundar atau spiral, A_v sebesar dua kali luas tulangan sengkang atau spiral atau kawat A_b .

10.6.2.5 *Verifikasi kekuatan geser biaksial* — Ketika kolom mengalami geser dalam dua arah horizontal secara bersamaan, itu harus sesuai dengan Persamaan (10.6.2.5)

$$\sqrt{\left[\frac{(V_u)_x}{\phi V_n}_x \right]^2 + \left[\frac{(V_u)_y}{\phi V_n}_y \right]^2} \leq 1,0 \quad (10.6.2.5)$$

dengan $(V_u)_x$ dan $(V_u)_y$ masing-masing adalah geser terfaktor masing-masing dalam arah sumbu x dan y ; dan $(\phi V_n)_x$ dan $(\phi V_n)_y$ adalah kekuatan geser yang ditentukan dari Persamaan (10.6.2.2) untuk arah yang sesuai x atau y .

10.7 – Perhitungan reaksi fondasi

10.7.1 Reaksi beban vertikal — Reaksi beban vertikal R_u pada fondasi harus sama dengan nilai P_u pada kolom ujung bawah yang terletak langsung di atas fondasi.

10.7.2 Reaksi momen — Reaksi momen yang tak terbalans ΔM_u pada fondasi harus sama dengan nilai M_u pada kolom ujung bawah yang terletak langsung di atas fondasi. Momen tak terbalans ini harus didistribusikan ke balok sloof dan komponen fondasi sebagaimana ditentukan dalam Bab 14.

BAB 11 – KETAHANAN SEISMIK

11.1 – Detail tulangan khusus untuk zona seismik

11.1.1 Umum — Hal-hal berikut ini harus digunakan untuk komponen struktur yang berada dalam zona seismik seperti dijelaskan dalam 4.11.2.3.

11.1.2 Girder rangka

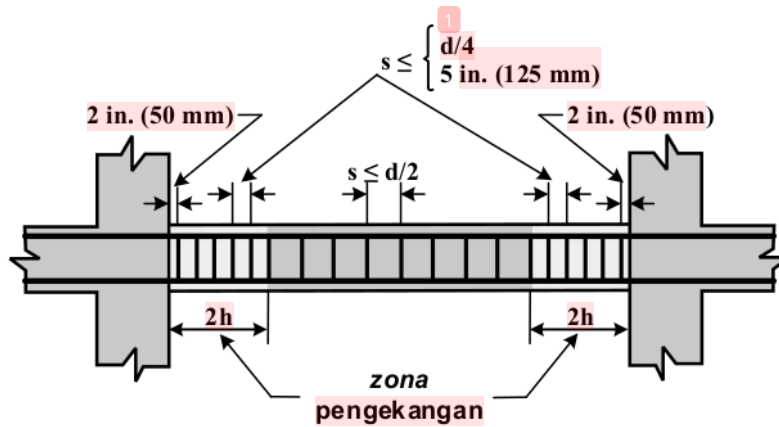
11.1.2.1 Batasan dimensional — Lebar girder b_w minimum 10 in. (250 mm), dan girder harus sesuai dengan 8.7.2.

11.1.2.2 Tulangan longitudinal – Selain 8.7.5, butir (a) sampai dengan (f) harus dipenuhi:

- (a) Paling sedikit dua tulangan atas dan bawah harus disediakan.
- (b) Pada penampang manapun, rasio tulangan akibat momen positif dan negatif harus sama dengan atau lebih besar dari nilai minimum yang ditunjukkan dalam 8.4.5.
- (c) Pada penampang manapun, rasio tulangan akibat momen positif dan negatif tidak boleh melebihi 0,025.
- (d) Luas tulangan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah luas tulangan momen negatif di muka tumpuan yang sama.
- (e) Luas tulangan momen positif dan negatif pada penampang manapun tidak boleh kurang dari seperempat luas tulangan momen negatif maksimum pada kedua muka joint.
- (f) Splais lewatan tidak boleh digunakan dalam joint balok-kolom dan zona pengekangan seperti dijelaskan dalam 11.1.2.3(a). Seluruh panjang splais lewatan harus dikekang dengan sengkang tertutup, seperti dijelaskan dalam 11.1.2.3(b), dengan spasi sengkang tidak melebihi yang terkecil di antara $d/4$ dan 4 in. (100 mm).

11.1.2.3 Tulangan transversal — Selain 8.5, butir (a) hingga (e) harus dipenuhi:

- (a) Tulangan transversal harus berupa *sengkang tertutup* (sengkang pengekang) pada kedua ujung girder di sepanjang dua kali tinggi komponen struktur h , yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke tengah bentang.
- (b) *Sengkang tertutup* harus berupa sengkang tertutup dengan diameter paling kecil $3/8$ in. (10 mm), dengan kait seperti dijelaskan dalam 5.6(d), dan sesuai dengan 10.4.3.2, sengkang pengikat kolom. *Sengkang lintas* harus sesuai dengan 5.6(e).
- (c) *Sengkang tertutup* pertama harus ditempatkan tidak lebih jauh dari 2 in. (50 mm) dari muka tumpuan.
- (d) Spasi *sengkang tertutup* tidak boleh melebihi yang terkecil di antara $d/4$ dan 5 in. (125 mm).
- (e) Untuk bentang tengah girder di antara zona-zona pengekangan, tulangan transversal harus berupa sengkang tertutup dengan kait sesuai dengan 5.6(d), dan spasi sengkang maksimum harus sebesar $d/2$.



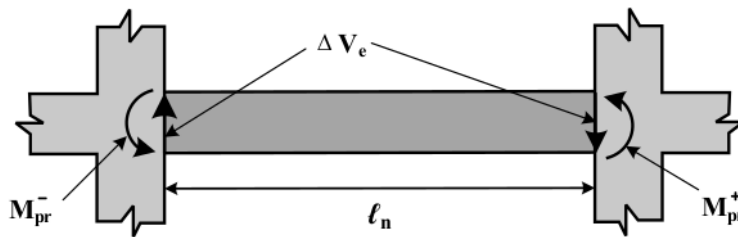
Gambar 11.1.2.3 – Spasi sengkang pengekangan.

11.1.2.4 Kekuatan geser — Selain 8.5, butir (a) sampai dengan (e) harus dipenuhi:

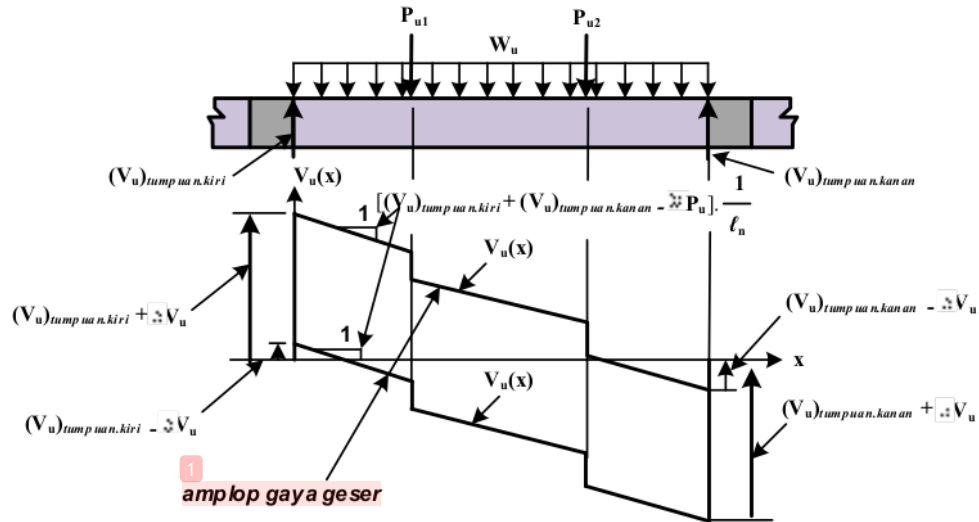
(a) Gaya geser terfaktor tambahan ΔV_e , yang sesuai dengan pengembangan kekuatan momen yang mungkin terjadi pada bentang di muka joint, harus ditentukan sebagai nilai terbesar di antara Persamaan (11.1.2.4a) dan Persamaan (11.1.2.4b) (Gambar 11.1.2.4a).

$$\Delta V_e = \frac{(M_{pr}^+)_{kiri} + (M_{pr}^-)_{kanan}}{\ell_n} \quad (11.1.2.4a)$$

$$\Delta V_e = \frac{(M_{pr}^-)_{kiri} + (M_{pr}^+)_{kanan}}{\ell_n} \quad (11.1.2.4b)$$



Gambar 11.1.2.4a – Perhitungan ΔV_e .



Gambar 11.1.2.4b – Perhitungan amplop gaya geser dalam girder.

(b) Dalam Persamaan (11.1.2.4a) dan Persamaan (11.1.2.4b), M_{pr}^+ dan M_{pr}^- sesuai dengan kekuatan momen positif dan negatif yang mungkin terjadi pada muka joint, ditentukan dari Persamaan (5.11.4.2) dan dengan kekuatan leleh tulangan longitudinal f_{ypr} yang sesuai, bukan f_y ($f_{ypr} = 1,25 f_y$) dan faktor reduksi kekuatan $\phi = 1,0$.

(c) Nilai ΔV_e terbesar yang ditentukan dari Persamaan (11.1.2.4a) dan Persamaan (11.1.2.4b) harus ditambahkan pada V_u di muka tumpuan tersebut, dan diagram gaya geser pada 8.5.4.6 harus dihitung ulang (Gambar 11.1.2.4b).

(d) Tulangan transversal untuk geser harus ditentukan seperti yang dijelaskan dalam 8.5.4.5, kecuali jika ΔV_e lebih besar daripada V_u untuk beban gravitasi pada muka tumpuan dalam menghitung tulangan geser, kontribusi beton terhadap kekuatan geser harus diambil sebesar nol ($\phi V_c = 0$) dalam zona pengekanan yang ditunjukkan dalam 11.1.2.3(a).

(e) Sengkang tertutup seperti dijelaskan dalam 11.1.2.3 harus diperhitungkan sebagai tulangan geser efektif.

11.1.3 Kolom

11.1.3.1 Batasan dimensi — Batasan-batasan pada 10.3 harus berlaku, dan 10.3.2.1 harus dimodifikasi dengan (a) dan (b):

(a) Dimensi penampang terkecil tidak boleh kurang dari 12 in. (300 mm).

(b) Rasio dimensi penampang yang terpanjang terhadap yang terpendek tidak boleh melebihi 2.5.

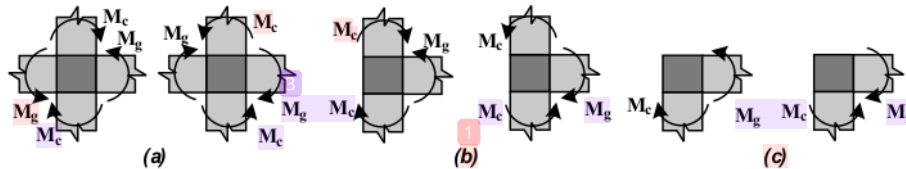
11.1.3.2 Tulangan longitudinal — 10.4.2 harus berlaku, dan 10.4.2.8 harus dimodifikasi untuk membatasi lokasi splais pada setengah panjang di tengah komponen struktur.

11.1.3.3 Kekuatan momen kolom minimum – Kekuatan momen kolom harus memenuhi Persamaan (11.1.3.3), kecuali jika di seluruh panjang kolom dipasang tulangan transversal yang memenuhi 11.5.3.4.

$$\sum M_c \geq \frac{6}{5} \sum M_g \quad (11.1.3.3)$$

dengan $\sum M_c$ adalah jumlah kekuatan momen nominal M_n kolom yang merangka pada suatu joint, dan $\sum M_g$ adalah jumlah kekuatan momen nominal M_n girder yang merangka pada joint yang sama.

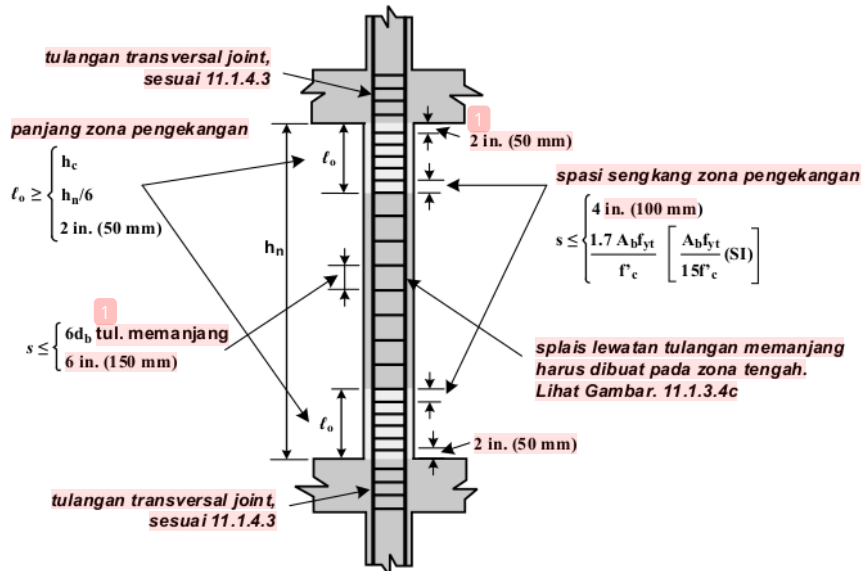
Kekuatan momen kolom harus sesuai dengan kekuatan momen minimum yang dihitung dengan persamaan yang sesuai dari Persamaan (5.12.6d) dan Persamaan (5.12.6e) untuk rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada kolom tersebut. Kekuatan momen harus ditambahkan pada kondisi di mana arah momen kolom berlawanan dengan arah momen balok. Persamaan (11.1.3.3) harus terpenuhi untuk momen balok yang bekerja di kedua arah bidang vertikal pada rangka yang ditinjau (Gambar 11.1.3.3).



Gambar 11.1.3.3 – Kekuatan momen minimum kolom.

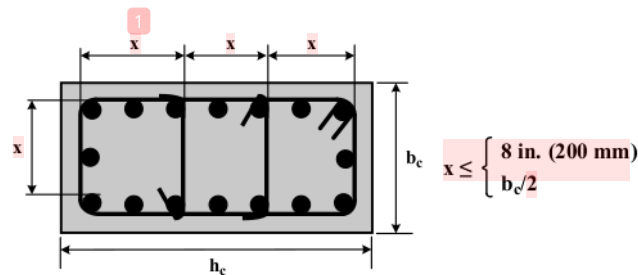
11.1.3.4 Tulangan transversal pengikat — Apabila pengikat (senggang) digunakan sebagai tulangan transversal kolom, maka 10.4.3 dan butir (a) sampai dengan (h) harus dipenuhi.

(a) Tulangan transversal harus berupa *senggang tertutup* (pengikat pengekang) (Gambar 11.1.3.4a) di sepanjang zona pengekangan ℓ_o yang diukur dari muka joint pada setiap ujung kolom. Jarak ℓ_o tidak boleh lebih kecil daripada dimensi penampang kolom terbesar, seperenam panjang bersih kolom, atau 20 in. (500 mm).



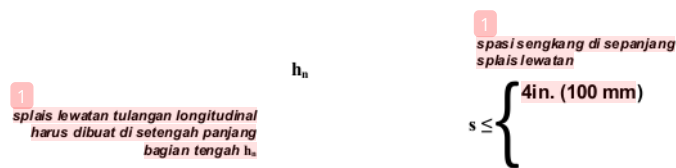
Gambar 11.1.3.4a – Spasi senggang tertutup pengekang dalam kolom.

(b) Senggang tertutup harus berupa pengikat tunggal atau beroverlap dengan kait seperti dijelaskan dalam 5.6(d) dan memenuhi 10.4.3.2, Kolom pengikat.



Gambar 11.1.3.4b – Penyusunan kaki-kaki sengkang tertutup (tulangan pengekan) dan pengikat lintas.

(c) *Pengikat lintas* yang memenuhi 5.6(e) dan memiliki diameter dan spasi yang sama dengan sengkang tertutup boleh digunakan. Setiap pengikat lintas harus mengikat periferal tulangan longitudinal. Pengikat lintas yang berurutan harus dipasang berseling ujung ke ujung di sepanjang tulangan longitudinal.



Gambar 11.1.3.4c – Spasi sengkang tertutup pengekan dalam kolom untuk spais.

(d) Jarak horizontal, yang diukur dari pusat ke pusat, antara kaki-kaki sengkang tertutup periferal dan pengikat lintas, dan antar pengikat lintas, tidak boleh melebihi 8 in. (200 mm) dan setengah dimensi penampang terkecil. Apabila jumlah kaki sengkang tertutup dan pengikat lintas yang ditentukan melebihi jumlah tulangan longitudinal yang berada di muka penampang, maka tambahan tulangan longitudinal harus disediakan.

(e) Pada zona pengekan, spasi sengkang tertutup maksimum yang diukur sepanjang sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi nilai terbesar di antara 4 in. (100 mm) dan nilai yang ditentukan dari Pers. (11.1.3.4).

$$s \leq \frac{A_b f_{yt}}{0,6 f_c} \tag{11.1.3.4}$$

$$\left[s \leq \frac{A_b f_{yt}}{15 f_c} \text{ (SI)} \right]$$

dengan A_b adalah luas sengkang tertutup dan pengikat lintas, dan f_{yt} adalah kekuatan leleh nominal sengkang tertutup dan pengikat lintas (Gambar 11.1.3.4a).

(f) *Sengkang tertutup* pertama harus ditempatkan tidak lebih jauh dari 2 in. (50 mm) dari muka joint.

(g) Apabila tulangan seperti ditentukan sebelumnya tidak ditempatkan di seluruh panjang bersih kolom, maka tulangan transversal pada bagian tengah panjang bersih kolom di antara zona-zona pengekangan harus berupa sengkang tertutup dengan diameter, kekuatan leleh f_{yt} , dan jumlah pengikat lintas yang sama dengan yang digunakan di zona pengekangan; dan spasi pusat ke pusat maksimum tidak boleh melebihi nilai terkecil di antara enam kali diameter tulangan longitudinal kolom d_b dan 6 in. (150 mm) (Gambar 11.1.3.4a).

(h) Splais tulangan longitudinal harus ditempatkan dalam zona tengah kolom dengan pengekangan sengkang tertutup yang disediakan di seluruh panjang splais, dan tidak lebih dari setengah tulangan longitudinal total harus displais (Gambar 11.3.4c).

11.1.3.5 Tulangan spiral — Apabila spiral digunakan sebagai tulangan transversal kolom, maka 10.4.3.3 dan butir (a) sampai dengan (c) harus dipenuhi:

(a) Tulangan transversal harus berupa spiral yang sesuai dengan 11.1.3.5 di sepanjang zona pengekangan ℓ_o yang tidak boleh lebih kecil daripada dimensi penampang kolom terbesar, seperenam panjang bersih kolom, atau 20 in. (500 mm), yang diukur dari muka joint di kedua ujung kolom.

(b) Rasio volumetrik spiral tidak boleh kurang dari nilai yang dihitung dengan Persamaan (10.4.3.3) dan Persamaan. (11.1.3.5).

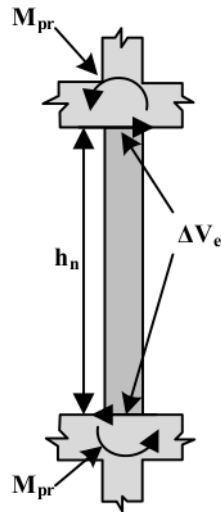
$$\rho_s = \frac{A_b \pi (d_{cs} - d_b)}{A_{cs} s} \geq 0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (11.1.3.5)$$

(c) Di luar zona pengekangan, spasi pusat ke pusat spiral maksimum tidak boleh melebihi nilai terkecil di antara enam kali diameter tulangan longitudinal kolom d_b dan 6 in. (150 mm).

11.1.3.6 Kekuatan geser — Pasal 10.6 dan butir (a) sampai dengan (d) harus dipenuhi:

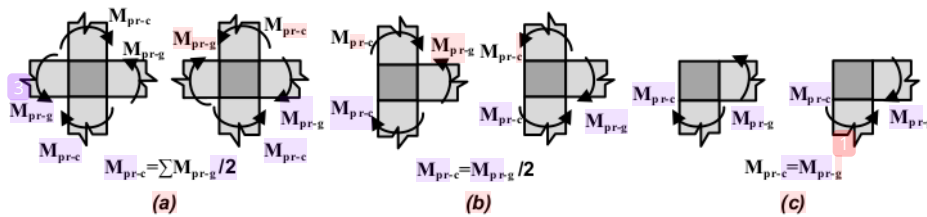
(a) Gaya geser terfaktor ΔV_e yang sesuai dengan kekuatan momen kolom yang mungkin terjadi di muka joint, harus ditentukan dengan Persamaan (11.1.3.6) untuk semua arah utama pada bidang (Gambar 11.1.3.6a).

$$\Delta V_e = \frac{(M_{pr})_{top} + (M_{pr})_{bottom}}{h_n} \quad (11.1.3.6)$$



Gambar 11.1.3.6a – Perhitungan ΔV_e untuk kolom.

(b) Dalam Persamaan (11.1.3.6), M_{pr} adalah kekuatan momen yang mungkin terjadi di muka joint, yang ditentukan dengan dengan f_{ypr} bukan f_y ($f_{ypr} = 1,25 f_y$) dan faktor reduksi kekuatan $\phi = 1,0$. Kekuatan momen kolom harus sesuai dengan kekuatan momen maksimum yang mungkin terjadi yang dihitung dengan persamaan yang sesuai dari Persamaan (5.12.6d) dan Persamaan (5.12.6e) untuk rentang beban aksial terfaktor P_u yang bekerja pada kolom tersebut. Gaya geser terfaktor untuk kolom, ΔV_e , tidak perlu melebihi nilai yang ditentukan dari gaya geser joint berdasarkan kekuatan momen girder yang mungkin terjadi M_{pr} pada joint seperti ditentukan dalam 11.1.2.4 (Gambar 11.1.3.6b).



Gambar 11.1.3.6b – M_{pr} maksimum untuk kolom yang disyaratkan untuk ΔV_e kolom.

(c) Tulangan transversal untuk geser harus ditentukan sebagaimana dijelaskan dalam 10.6, kecuali bahwa kontribusi beton terhadap kekuatan geser harus diambil $\phi V_c = 0$ dalam zona pengekangan yang ditentukan dalam 11.1.3.4(a) dan 11.1.3.5(a).

(d) *Sengkang tertutup* (pengikat pengekang) atau spiral seperti dijelaskan dalam 11.1.3.4 dan 11.1.3.5 harus diperhitungkan sebagai tulangan geser efektif.

11.1.4 Joint rangka

11.1.4.1 Umum — Untuk joint rangka yang berlokasi di zona seismik, 11.1.4 harus berlaku, dan 10.4.3.4 tidak berlaku.

11.1.4.2 Dimensi kolom pada joint — Dimensi kolom yang sejajar dengan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan girder longitudinal terbesar d_b , dengan tulangan girder longitudinal menerus di sepanjang joint kolom–girder.

11.1.4.3 Tulangan transversal — Tulangan transversal yang memenuhi butir (a) dan (b) harus disediakan di dalam joint kolom–girder:

(a) Senggang tertutup (pengikat pengekan) transversal horizontal dengan luas dan spasi yang sama seperti diindikasikan dalam 11.1.3.4 harus disediakan di dalam joint kolom – girder. Luas di dalam joint tersebut adalah inti terkekang. Apabila girder, yang memiliki lebar yang sama dengan atau lebih besar dari tigaperempat lebar kolom, merangka pada joint di keempat sisinya, maka spasi senggang tertutup boleh dua kali dari yang ditentukan dalam 11.1.3.4, tetapi tidak melebihi 6 in. (150 mm).

(b) Apabila tulangan girder longitudinal berada di luar inti terkekang yang dijelaskan dalam (a), maka senggang tertutup vertikal untuk girder seperti ditentukan dalam 11.1.2.3 harus disediakan untuk mengekan tulangan tersebut.

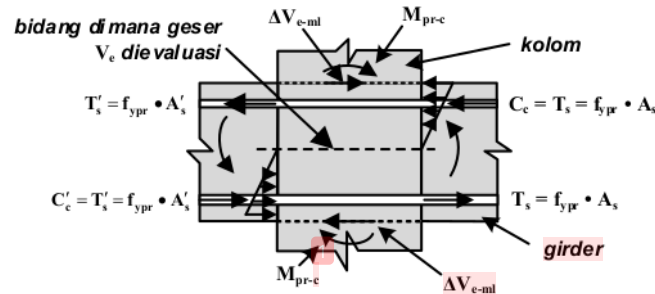
11.1.4.4 Kekuatan geser joint — Kekuatan geser joint horizontal harus sama dengan atau melebihi gaya geser terfaktor yang dikembangkan akibat kekuatan momen kolom dan girder yang mungkin terjadi pada joint tersebut (Gambar 11.1.4.4a). Butir (a) sampai dengan (d) berlaku.

(a) Gaya geser terfaktor pada joint, V_u , harus ditentukan untuk kedua arah utama dengan Pers. (11.1.4.4a) untuk joint dengan balok-girder yang merangka pada kedua sisi dan dengan Pers. (11.1.4.4b) untuk joint dengan girder yang merangka hanya pada satu sisi.

$$V_u = f_{ypr} (A_s + A'_s)_{girder} - (\Delta V_e)_{column} \tag{11.1.4.4a}$$

$$V_u \geq \begin{cases} f_{ypr} (A_s)_{girder} - (\Delta V_e)_{column} \\ f_{ypr} (A'_s)_{girder} - (\Delta V_e)_{column} \end{cases} \tag{11.1.4.4b}$$

Dalam Persamaan (11.1.4.4a) dan Persamaan (11.1.4.4b), $(A_s)_{girder}$ sesuai dengan luas tulangan longitudinal girder. Gaya geser yang dikembangkan dari kekuatan momen kolom harus ditentukan dari 11.1.3.6.



Gambar 11.1.4.4a – Penentuan gaya geser joint.

(b) Kekuatan geser pada bidang kritis dalam joint harus sebesar (untuk A_j , mengacu pada Gambar 11.1.4.4b dan Gambar 11.1.4.4c):

Untuk joint yang terkekang pada keempat sisinya

$$\phi V_n = \phi 20 \sqrt{f'_c} A_j$$

$$\left[\phi V_n = \phi 1,7 \sqrt{f'_c} A_j \text{ (SI)} \right]$$

Untuk joint yang terkekang pada ketiga sisinya atau pada muka-muka berlawanan

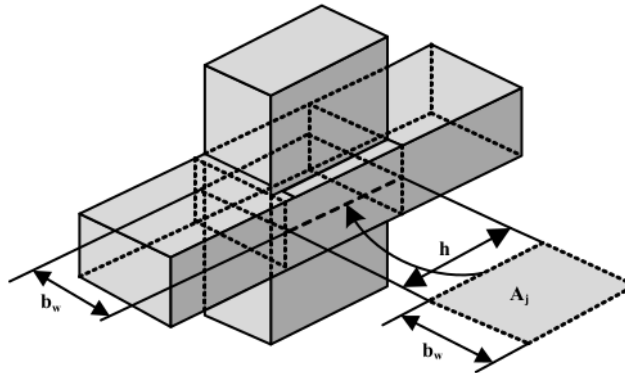
$$\phi V_n = \phi 15 \sqrt{f'_c} A_j$$

$$\left[\phi V_n = \phi 1,25 \sqrt{f'_c} A_j \text{ (SI)} \right]$$

Untuk joint lain

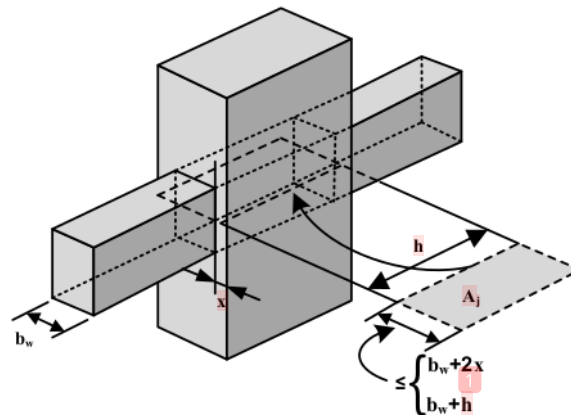
$$\phi V_n = \phi 12 \sqrt{f'_c} A_j$$

$$\left[\phi V_n = \phi 1,0 \sqrt{f'_c} A_j \text{ (SI)} \right]$$



Gambar 11.1.4.4b – Definisi A_j untuk girder yang lebih lebar dari lebar kolom.

(c) Girder yang merangka pada muka joint dianggap menyediakan pengekangan terhadap joint tersebut apabila paling sedikit tiga perempat muka joint tertutup oleh girder tersebut.



Gambar 11.1.4.4c – Definisi A_j untuk girder dengan lebar lebih kecil dari lebar kolom.

(d) A_j adalah luas penampang efektif di dalam joint, dalam suatu bidang yang sejajar dengan bidang tulangan yang menghasilkan gaya geser dan sama dengan perkalian tinggi joint dan lebar efektif joint. Tinggi joint adalah sama dengan dimensi kolom yang sejajar arah girder. Lebar efektif joint adalah sama dengan lebar girder untuk girder yang lebarnya sama dengan atau lebih besar daripada lebar kolom (Gambar 11.1.4.4b). Untuk girder yang lebarnya lebih kecil daripada lebar

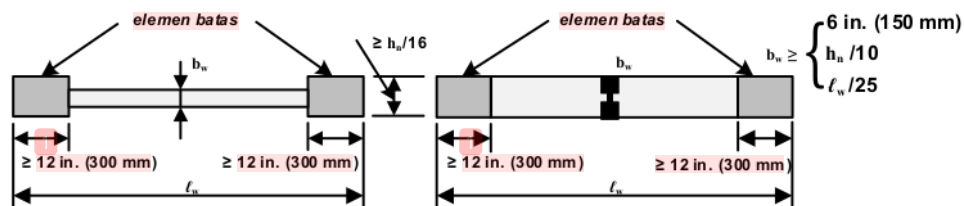
1 kolom, lebar efektif joint adalah sama dengan nilai terkecil di antara lebar girder ditambah tinggi joint, atau lebar girder ditambah dua kali jarak tegak lurus terkecil di antara sumbu longitudinal girder ke sisi kolom, tanpa melebihi lebar kolom (Gambar 11.1.4.4c).

11.1.4.5 *Pengangkuran tulangan girder* — Tulangan longitudinal yang berhenti pada joint harus diakhiri dengan kait standar 90 derajat yang berada di dalam inti terkekang kolom.

11.1.5 Dinding

11.1.5.1 *Umum* — Dinding beton bertulang yang berada di zona seismik harus memenuhi Bab 12 dan 11.1.5.

11.1.5.2 *Elemen batas* — Elemen batas dalam dinding struktural harus memenuhi butir (a) sampai dengan (h).



Gambar 11.1.5.2 – Dimensi elemen batas.

(a) Jika tegangan serat ekstrim tertekan maksimum, f_{cu} , yang dihitung dari Persamaan (11.1.5.2a) dari kombinasi beban yang memperhitungkan efek seismik, melebihi $0,2f'_c$, salah satu dari yang berikut ini harus disediakan:

- Elemen batas pada semua ujung dinding struktural
- Tulangan transversal pengekangan yang memenuhi 11.1.3.4 untuk seluruh dinding

$$f_{cu} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{6M_u}{\ell_w^2 b_w} \quad (11.1.5.2a)$$

(b) Elemen batas boleh tidak menerus jika f_{cu} kurang dari $0,15f'_c$.

(c) Tebal elemen batas tidak boleh kurang dari nilai terbesar di antara $h_n/16$ atau b_w , dan harus memiliki panjang horizontal dalam arah dinding tidak kurang dari 12 in. (300 mm) di setiap ujung (12.3.2.1 dan Gambar 11.1.5.2).

(d) Elemen batas harus memiliki tulangan transversal seperti disyaratkan untuk kolom dalam 11.1.3.4, dengan spasi dalam 11.1.3.4(e) yang tidak terlampaui pada titik manapun di sepanjang tinggi elemen batas.

(e) Elemen batas harus diproporsikan untuk menahan semua beban gravitasi terfaktor pada dinding, termasuk beban tributari dan berat sendiri, dan juga gaya vertikal yang dihasilkan dari momen guling seismik yang menahan, mengikuti 12.2.3. Gaya aksial terfaktor tekan pada elemen batas, P_{cu} , harus ditentukan dari Pers. (11.1.5.2b), dan gaya aksial terfaktor tarik, P_{tu} , pada elemen batas dari Pers. (11.1.5.2c)

$$P_{cu} = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(\ell_w - 12 \text{ in.})} \quad (11.1.5.2b)$$

$$\left[P_{cu} = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(\ell_w - 300 \text{ mm})} \quad (\text{SI}) \right]$$

$$P_{tu} = \frac{P_u}{2} - \frac{M_u}{(\ell_w - 12 \text{ in.})} \quad (11.1.5.2c)$$

$$\left[P_{tu} = \frac{P_u}{2} - \frac{M_u}{(\ell_w - 300 \text{ mm})} \right] \text{ (SI)}$$

(f) Tulangan longitudinal harus diproporsikan untuk beban aksial tekan terfaktor P_{cu} , dengan Persamaan (5.12.3.1) dan Persamaan (5.12.3.2a). Dalam Persamaan (5.12.3.1), A_g harus diganti dengan luas elemen batas. Rasio tulangan tidak boleh melebihi batasan pada 12.4.4.3. Apabila tulangan longitudinal yang ditentukan dari Persamaan (11.1.5.2b) dan Persamaan (11.1.5.2c) melebihi batasan tersebut, maka ukuran elemen batas harus diperbesar. Apabila ukuran elemen batas diperbesar, maka P_{cu} dan P_{tu} harus disesuaikan dalam Persamaan (11.1.5.2b) dan Persamaan (11.1.5.2c).

(g) Tulangan longitudinal harus diproporsikan untuk nilai mutlak beban aksial tarik terfaktor P_{tu} — nilai yang lebih besar dari nol dalam Persamaan (11.1.5.2c) berarti tidak ada beban tarik dengan Persamaan (5.12.5).

(h) Apabila elemen batas juga berfungsi sebagai kolom dalam suatu rangka, maka kolom tersebut harus diproporsikan sebagai kolom menurut Bab 10.

11.1.5.3 Kekuatan geser — Kekuatan geser dinding struktural harus memenuhi 12.6.

11.1.6 Sistem slab-kolom

11.1.6.1 Umum — Sistem slab-kolom yang berada di zona seismik harus memenuhi 11.1.6 dan Bab 9. Sistem struktur tersebut tidak boleh digunakan di zona seismik tanpa menggunakan dinding beton bertulang untuk menahan beban lateral seismik dan membatasi deformasi lateral yang diakibatkan oleh percepatan seismik.

11.1.6.2 Momen gaya lateral — Momen gaya lateral terfaktor, seperti ditentukan dari 4.15.4.2, harus ditambahkan ke momen setrip kolom, dengan kombinasi beban yang sesuai. Tulangan yang sesuai dengan momen gaya lateral terfaktor harus ditempatkan dalam zona lebar efektif seperti dijelaskan dalam 9.8.1.8(a).

11.1.6.3 Tulangan setrip kolom — Butir (a) sampai dengan (e) dan Bab 9 harus diamati:

(a) Paling sedikit setengah tulangan setrip kolom atas dan bawah pada tumpuan harus ditempatkan dalam lebar slab efektif seperti dijelaskan dalam 9.8.1.8(a).

(b) Paling sedikit seperempat tulangan setrip kolom atas pada tumpuan harus menerus di sepanjang bentang.

(c) Tulangan setrip kolom bawah yang menerus harus paling sedikit sepertiga tulangan atas di tumpuan.

(d) Paling sedikit setengah dari semua tulangan bawah pada tengah bentang harus menerus dan harus memiliki panjang pengembangan seperti disyaratkan dalam 5.8.1 pada muka tumpuan seperti dijelaskan dalam 9.4.2.8.

(e) Pada tepi slab yang tak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus memenuhi panjang pengembangan seperti disyaratkan dalam 5.8.1 pada muka tumpuan.

11.1.6.4 Slab wafel — Dalam slab wafel, joist yang berada dalam setrip kolom dan semua joist yang menyambung ke kapital, harus memiliki lebar minimum b_w 6 in. (150 mm), dan harus disediakan dengan sengkang tertutup yang memiliki spasi tidak lebih dari $d/4$ di sepanjang kapital dan diperpanjang dari muka kapital hingga minimum $2d$ ke arah bentang.

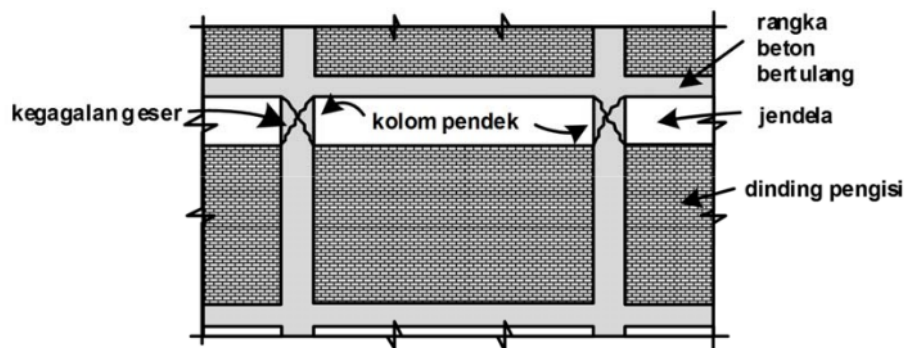
11.2 – Interaksi dengan elemen nonstruktural

11.2.1 Umum — ACI 318, ASCE 7, dan *the International Building Code (International Code Council 2015)* harus digunakan untuk desain elemen nonstruktural. Dalam beberapa kasus, elemen nonstruktural berinteraksi dengan komponen struktur, sehingga mempengaruhi perilaku dan memberikan beban dan momen yang tidak dicakup dalam prosedur pendekatan panduan ini. Situasi ini penting khususnya dalam struktur yang menerima beban seismik dan lateral lain. Potensi situasi yang membahayakan jiwa yang disebabkan oleh kegagalan elemen nonstruktural pada saat terjadi gerakan tanah kuat harus ditangani oleh desainer struktur atau arsitektur.

11.2.2 Pengisi pasangan — Pengaruh dinding pengisi pasangan pada perilaku gaya lateral struktur harus ditangani oleh desainer, baik dengan memperhitungkan pengaruh tersebut ke dalam proses desain atau dengan mengisolasi dinding pasangan dari struktur. Pada alternatif kedua, pengukuran yang sesuai harus dilakukan untuk mempertahankan stabilitas keluar bidang dinding pasangan ketika menerima beban lateral seismik atau angin.

11.2.3 Kolom pendek

11.2.3.1 Deskripsi — Secara historis, efek yang paling merusak rangka beton bertulang yang berinteraksi dengan elemen nonstruktural disebabkan oleh kolom pendek. Kolom pendek terbentuk jika dinding struktural atau nonstruktural mengekang bagian bawah kolom, tetapi menyisakan celah pada bagian atas di bawah komponen struktur horizontal (Gambar 11.2.3.1). Jenis penyusunan dinding tersebut sangat lazim dalam suatu gedung di mana celah disediakan untuk keperluan pencahayaan, misalnya dalam gedung untuk pendidikan. Situasi ini mengakibatkan gaya geser pada kolom yang besar dan tak terantisipasi ketika struktur mengalami beban lateral.



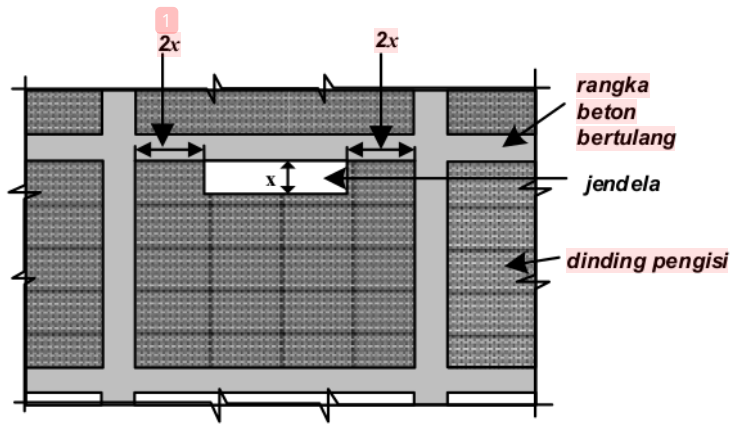
Gambar 11.2.3.1 – Efek kolom pendek.

11.2.3.2 Pengukuran korektif — Dua langkah korektif alternatif harus dipertimbangkan:

(a) Pisahkan dinding pengisi dari kolom dengan menyediakan celah. Celah antara dinding dan kolom harus kira-kira sebesar 1,5 persen tinggi tingkat h_{pi} . Dinding pasangan harus diangkur untuk mencegah terguling ketika menerima beban lateral keluar bidang.

(b) Tempatkan dinding yang jauh lebih pendek pada bagian tengah bentang, sehingga terdapat dinding pasangan yang menempel pada kolom di seluruh tingginya. Dalam alternatif ini, jarak antara muka kolom dan jendela harus paling sedikit dua kali dimensi vertikal celah yang diakibatkan adanya jendela (Gambar 11.2.3.2).

Apabila salah satu dari butir (a) atau (b) tidak terpenuhi, maka sengkang tertutup harus disediakan di sepanjang tinggi kolom seperti diindikasikan oleh 11.1.3.4, dan kekuatan geser kolom harus ditentukan dari 11.1.3.6 dengan dimensi dinding vertikal bukan h_n dalam Persamaan (11.1.3.6).



Gambar 11.2.3.2 – Efek kolom pendek.

1 BAB 12 – DINDING BETON BERTULANG

12.1 – Umum

Desain dinding beton bertulang dalam dan keluar bidang harus dilakukan dengan menggunakan Bab 12. Dinding penahan tanah harus didesain mengikuti Bab 14.

12.2 – Beban

12.2.1 Beban yang diperhitungkan — Beban untuk dinding beton bertulang harus ditetapkan dari Bab 4. Beban yang harus diperhitungkan dalam desain adalah (Gambar 12.2.1):

(a) Beban hidup dan mati dari tributari elemen struktural dari setiap lantai yang ada di atasnya. Beban tributari harus ditetapkan dari Bab 4 dan beban pada masing-masing jenis elemen tributari.

(b) Berat sendiri dinding

(c) Beban lateral dari angin, seismik, atau tekanan lateral tanah

12.2.2 Beban mati dan beban hidup — P_d harus mencakup berat sendiri dinding. Berat sendiri dinding yang sesuai pada masing-masing lantai dapat diaplikasikan di bagian bawah dinding di lantai itu. Momen tak terbalans akibat beban vertikal harus ditentukan dari elemen yang didukung (8.7.6 dan 9.9.2).

12.2.3 Beban lateral — Geser horizontal terfaktor V_u ada setiap tingkat dan di kedua arah utama harus ditentukan dari Bab 4. Momen gaya lateral terfaktor M_u harus ditetapkan pada bagian atas dan bawah dinding di kedua arah utama di setiap tingkat dengan mengikuti (a), (b), dan (c):

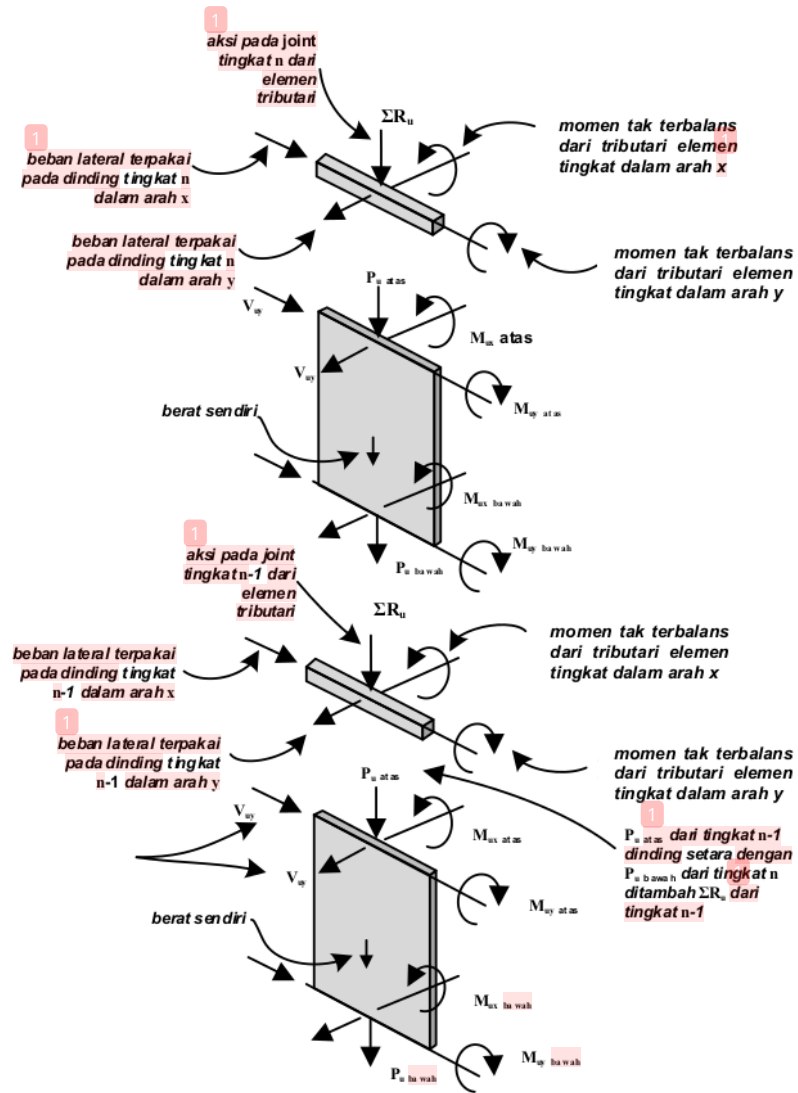
(a) Geser horizontal terfaktor pada setiap tingkat x , V_{xu} , untuk dinding harus ditentukan dari Bab 4.

(b) Gaya lateral terfaktor yang diaplikasikan pada setiap tingkat x , F_{xu} , harus ditentukan sebagai selisih geser terfaktor antara dua tingkat berturut-turut, V_{xu} dan $V_{(x+1)u}$.

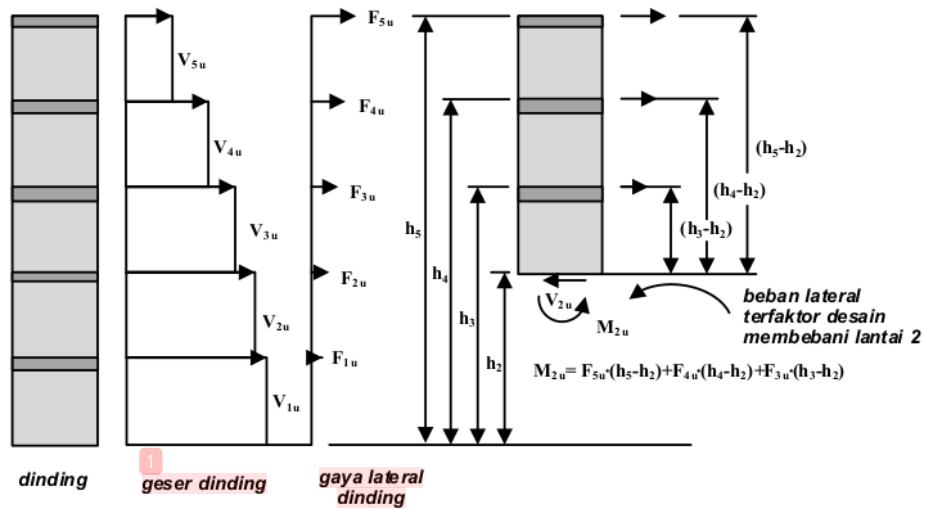
(c) Momen gaya lateral terfaktor M_{xu} pada setiap tingkat x harus ditentukan menggunakan Persamaan (12.2.3) (Gambar 12.2.3).

$$M_{xu} = \sum_{i=x}^n [F_{iu}(h_i - h_x)] \quad (12.2.3)$$

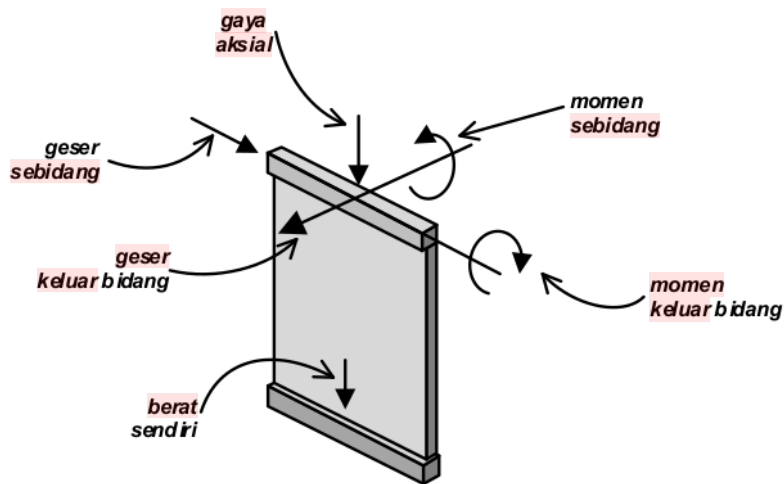
12.2.4 Beban terfaktor — Beban terfaktor P_u , V_u dan momen M_u harus diaplikasikan pada bagian atas dan bawah dari dinding di setiap tingkat. Beban horisontal harus dibagi menjadi beban dalam bidang dan keluar bidang (Gambar 12.2.4).



Gambar 12.2.1 – Dinding beton bertulang dengan beban dan momen terfaktor.



Gambar 12.2.3 – Perhitungan momen gaya lateral terfaktor.



Gambar 12.2.4 – Beban dalam dan keluar bidang.

12.3 – Batas Dimensi

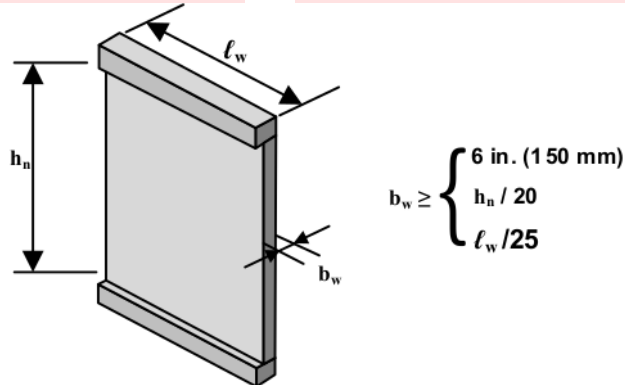
12.3.1 Umum — Sebagai tambahan dari Bab 12, dinding harus memenuhi batas dimensi umum yang ditetapkan dalam Pasal 1.3 dan Pasal 4.15.1; harus berbentuk persegi empat, kecuali sebagaimana diizinkan oleh Pasal 12.3.2.2; harus diselaraskan secara vertikal; dan harus meneruskan ke fondasi. Dinding penahan beban lateral dibatasi pada beban aksial maksimum yang dapat dipikul sesuai Pasal 4.11.3.1, membatasi beban aksial ke yang sesuai dengan titik seimbang seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (5.12.4.1a).

12.3.2 Batas Dimensi

12.3.2.1 Tebal minimum — Tebal dinding minimum (Gambar 12.3.2.1) harus lebih besar dari 6 in. (150 mm), atau 1/25 dari panjang dinding ℓ_w . Pada perubahan tebal dinding dalam tingkat yang berdekatan, Pasal 4.15.1 (c) harus diterapkan.

12.3.2.2 Kolom yang tertanam di dinding — Kolom dapat ditanam di dinding daripada menambah tebal dinding di sepanjang dinding. Penambahan tebal dapat ditempatkan di satu sisi penampang. Dimensi transversal kolom harus memenuhi Pasal 10.3.3.

12.3.3 Jarak penahan lateral — Harus diasumsikan bahwa penahan lateral disediakan oleh sistem lantai di semua level yang terhubung ke dinding (Gbr. 12.3.2.1) dalam dua arah horizontal. Jarak bersih vertikal antara penahan lateral, h_n , tidak boleh melebihi 20 kali tebal dinding.



Gambar 12.3.2.1 – Dimensi potongan melintang minimum untuk dinding beton bertulang persegi panjang.

12.3.4 Balok di atas dinding — Balok atau girder harus disediakan sepanjang dinding horizontal penuh pada setiap lantai dan atap yang ditahan oleh dinding. Balok atau girder ini harus sesuai dengan 8.7.2.3 dan 4.15.5.

12.4 – Detail Penulangan

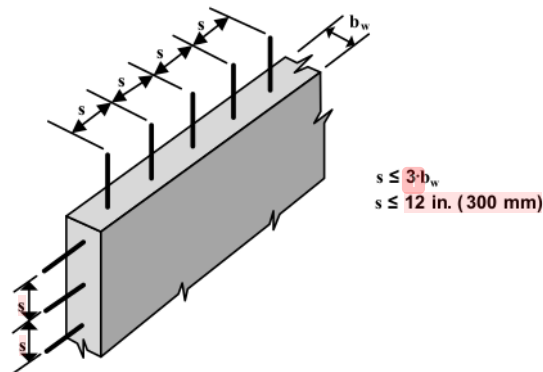
12.4.1 Umum — Jenis penulangan harus seperti yang dijelaskan dalam Bab 12 dan harus mematuhi Pasal 12.4.2 hingga Pasal 12.4.6.

12.4.2 Jarak tulangan maksimum — Tulangan vertikal dan horizontal maksimum harus lebih kecil dari tiga kali tebal dinding beton bertulang dan 12 in. (300 mm) (Gambar 12.4.2).

12.4.3 Jumlah tirai tulangan — Dua tirai, atau lapisan, dari tulangan, memiliki keduanya baik tulangan vertikal maupun tulangan horizontal, harus ditempatkan dalam kasus (a), (b), dan (c):

- (a) Tebal dinding melebihi 10 inci (250 mm)
- (b) Rasio tulangan vertikal ρ_{vw} melebihi 0.01 (12.4.5.2)
- (c) Gaya geser terfaktor V_u di dalam dinding melebihi ϕV_c seperti yang diberikan oleh Persamaan (12.6.2.2)

Ketika dua tirai tulangan ditempatkan, masing-masing harus memiliki sekitar setengah tulangan. Selimut minimum untuk tirai harus 1-1/4 in (30 mm), dan selimut maksimum untuk tirai harus sepertiga tebal dinding. Untuk eksposur eksterior, selimut minimum harus 2 in. (50 mm). Dalam semua kasus lain, hanya satu tirai tulangan, yang terletak di tengah dinding, dapat digunakan.



Gambar 12.4.2 – Jarak tulangan pada dinding beton bertulang

12.4.4 Penulangan vertikal

12.4.4.1 Umum — Penulangan vertikal harus terdiri dari satu atau dua tirai tulangan atau tulangan kawat dilas yang dipasang sejajar dengan permukaan dinding. Luas tulangan vertikal harus cukup untuk menahan kombinasi beban aksial terfaktor dan momen terfaktor yang bekerja pada dua sumbu utama dinding.

12.4.4.2 Luas minimum tulangan vertikal — Rasio tulangan vertikal minimum ρ_{vw} dari luas baja dengan luas bruto penampang horizontal beton harus 0,0025.

12.4.4.3 Luas maksimum tulangan vertikal — Rasio tulangan vertikal maksimum ρ_{vw} dari luas baja dengan luas bruto penampang horizontal dinding beton bertulang harus 0,06. Jika rasio ρ_{vw} melebihi 0,01, tulangan vertikal harus diberi pengikat seperti yang ditentukan untuk kolom pada Pasal 10.4.3.1.

$$0,0025 \leq \rho_{vw} \left(= \frac{A_{st}}{b_w l_w} \right) \leq 0,06 \quad (12.4.4.3)$$

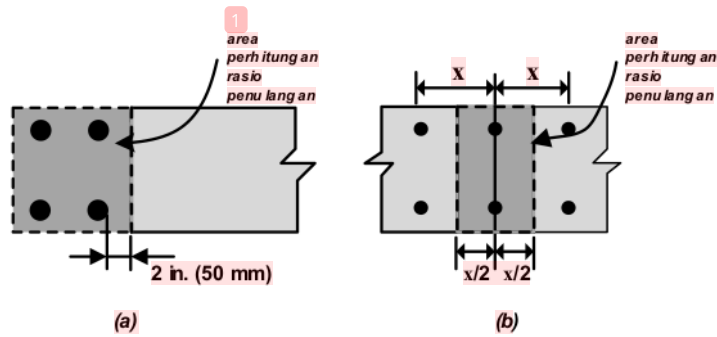
12.4.4.4 Perhitungan rasio tulangan vertikal — Perihal (a) dan (b) harus berlaku untuk dinding yang area dan jarak tulangan vertikal bervariasi atau untuk kolom yang ditanamkan:

(a) Rasio tulangan vertikal ρ_{vw} tidak boleh melebihi rasio tulangan vertikal maksimum yang ditentukan oleh Pasal 12.4.4.3, dan harus dievaluasi di area yang tulangan vertikalnya terkonsentrasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.4.4.4 (a). Rasio tulangan vertikal ρ_{vw} harus dievaluasi pada area yang terikat oleh muka dinding dan 2 in. (50 mm) di luar tulangan yang diukur sepanjang dinding yang tulangan vertikalnya terkonsentrasi (10.3.4).

(b) Rasio tulangan vertikal ρ_{vw} tidak boleh kurang dari rasio tulangan vertikal minimum yang ditetapkan dalam 12.4.4.3 yang konsentrasi tulangan vertikalnya dikurangi dengan meningkatkan jarak tulangan atau dengan mengurangi diameter tulangan vertikal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.4.4.4 (b).

12.4.4.5 Pensplaisan tulangan — Splais lewatan dari penulangan dinding vertikal harus sesuai dengan panjang splais lewatan 5.8.2. Splais lewatan 100% dari penulangan vertikal pada suatu penampang diperbolehkan, kecuali pada sistem lantai yang ditahan.

12.4.4.6 Pengangkuran ujung tulangan — Di bagian atas dinding dan di bagian bawah (pada fondasi), tulangan vertikal harus memanjang hingga sedekat mungkin dengan tepi sebagaimana prakteknya di lapangan dengan mempertimbangkan selimut beton dan diakhiri dengan kait standar.



Gambar 12.4.4.4 – Perhitungan rasio tulangan vertikal.

12.4.5 Penulangan horizontal

12.4.5.1 Umum — Penulangan horizontal harus terdiri dari satu atau dua lapisan tulangan atau tulangan kawat dilas yang ditempatkan sejajar dengan muka dinding. Jumlah tulangan horizontal harus sesuai dengan yang diperlukan untuk menahan geser terfaktor dalam bidang pada penampang dinding. Untuk dinding yang mempunyai tulangan yang banyak, seperti dijelaskan dalam Pasal 12.4.4.3, tulangan transversal harus disediakan seperti pada kolom.

12.4.5.2 Dinding dengan tulangan transversal — Jika rasio tulangan vertikal ρ_{vw} melebihi 0,01, tulangan vertikal harus ditutup dengan pengikat yang sesuai dengan Pasal 10.4.3.1, termasuk batasan jarak vertikal (12.4.4.3).

12.4.5.3 Luas tulangan horizontal minimum — Rasio tulangan horizontal minimum ρ_t dari area baja terhadap luas penampang vertikal beton bruto harus 0,0025.

12.4.5.4 Pensplaisan tulangan — Splais lewatan tulangan horizontal harus sesuai dengan panjang splais lewatan yang ditentukan oleh Pasal 5.8.2.

12.4.5.5 Pengangkuran ujung tulangan — Tulangan horizontal yang berakhir di tepi dinding harus memiliki kait standar yang mengikutsertakan tulangan vertikal tepi atau sengkang berbentuk U dengan ukuran dan jarak yang sama dengan tulangan horizontal yang seharusnya disediakan. Jika sengkang berbentuk U disediakan, sengkang berbentuk U harus disambungkan ke tulangan horizontal.

12.4.6 Penulangan dinding beton bertulang di zona seismik — Di dinding yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral di zona seismik, tulangan harus sesuai dengan Bab 11 (11.1.5).

12.5 – Lentur

12.5.1 Beban terfaktor — Beban aksial terfaktor P_u dan momen M_u pada bagian yang dipertimbangkan harus ditentukan mengikuti Pasal 12.2.

12.5.2 Penulangan vertikal coba-coba — Luas coba-coba untuk penulangan vertikal, A_{st} , harus merupakan rasio tulangan vertikal minimum Pasal 12.4.4.2.

12.5.3 Kekuatan momen yang diperlukan — Diagram interaksi dari dimensi dan tulangan dinding coba-coba harus dihitung pada kedua arah menggunakan Pasal 5.12. Total daerah tulangan vertikal A_{st} harus dibagi menjadi total luas permukaan baja ekstrim A_{se} dan total luas permukaan sisi baja A_{ss} , untuk arah yang ditinjau, sebagaimana ditunjukkan oleh Pasal 5.12.4.1. Kekuatan momen desain di kedua arah harus dihitung menggunakan Pasal 5.12.6. Ketika momen terfaktor M_u pada beban aksial terfaktor P_u melebihi kekuatan momen desain pada tingkat beban aksial terfaktor P_u , area tulangan vertikal harus ditingkatkan. Ketika area tulangan melebihi batas Pasal 12.4.4.3, tambah dimensi dinding. Setelah menyesuaikan dimensi, berat sendiri dinding harus dikoreksi dan kekuatan desain dinding harus dihitung ulang. Perhitungan ini harus dilakukan pada penampang atas dan bawah dari tingkat yang sama.

12.6 – Geser

12.6.1 Kekuatan geser yang diperlukan — Geser terfaktor dalam bidang V_u harus ditentukan dari beban vertikal dan beban horizontal seperti yang ditunjukkan oleh Pasal 12.2.

12.6.2 Kekuatan geser dinding beton bertulang

12.6.2.1 Umum — Informasi dalam Pasal 5.13 harus berlaku untuk desain dinding beton bertulang untuk geser. Item (a) sampai (d) harus digunakan:

(a) Desain untuk geser tegak lurus terhadap permukaan dinding (geser keluar bidang) harus sesuai dengan ketentuan untuk slab solid di Pasal 7.4. Desain untuk geser dalam bidang harus dilakukan mengikuti Pasal 12.6.2.

(b) Dinding harus terus menerus secara vertikal dari atap ke fondasi dan tidak memiliki bukaan untuk jendela atau pintu.

(c) Dinding harus memiliki tulangan vertikal dan horizontal yang terdistribusi, sesuai dengan luas minimum dan nilai jarak maksimum di Pasal 12.4.

(d) Kekuatan geser desain ϕV_n harus dihitung menggunakan Persamaan (12.6.2.1).

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s) \quad (12.6.2.1)$$

Dengan ϕV_c adalah kontribusi beton pada kekuatan geser desain; ϕV_s adalah kontribusi tulangan pada kekuatan geser desain; dan $\phi = 0,75$.

12.6.2.2 Kontribusi beton terhadap kekuatan geser — Di setiap lokasi kritis yang akan diperiksa, hanya badan dinding yang harus dipertimbangkan untuk menghitung ϕV_c , menggunakan Persamaan (12.6.2.2).

$$\phi V_c = \phi \alpha_c \sqrt{f'_c} b_w \ell_w \quad (12.6.2.2)$$

$$\left(\phi V_c = \phi \alpha_c \frac{\sqrt{f'_c}}{12} b_w \ell_w \text{ (SI)} \right)$$

Dengan b_w adalah lebar badan dinding; ℓ_w panjang horizontal; $\phi = 0,75$; dan koefisien α_c adalah 3,0 untuk $h_w/\ell_w \leq 1,5$; 2,0 untuk $h_w/\ell_w \geq 2,0$ dan bervariasi secara linear antara 3,0 dan 2,0 untuk h_w/ℓ_w antara 1,5 dan 2,0.

12.6.2.3 Kontribusi tulangan untuk kekuatan geser — Kontribusi tulangan badan horizontal untuk kekuatan geser desain dari dinding harus

$$\phi V_s = \phi(\rho_t f_y b_w \ell_n) \quad (12.6.2.3)$$

dengan ρ_t adalah rasio tulangan horizontal; f_y adalah kekuatan leleh; dan $\phi = 0,75$.

12.6.2.4 Desain tulangan geser — Jika geser terfaktor V_u melebihi ϕV_c , rasio tulangan horizontal tidak boleh kurang dari jumlah yang ditentukan dari Persamaan (12.6.2.4), dengan $\phi = 0,75$.

$$\rho_t \geq \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y b_w \ell_w} \quad (12.6.2.4)$$

Selain itu, (a), (b), dan (c) harus dipenuhi:

(a) Dua tirai tulangan dari tulangan vertikal dan horizontal harus ditempatkan.

(b) Rasio baja vertikal ρ_{vw} tidak boleh kurang dari rasio baja horizontal ρ_t dengan h_w/ℓ_w kurang dari 2.

(c) Nilai ϕV_n tidak boleh melebihi nilai yang diberikan oleh Persamaan (12.6.2.4b), dengan $\phi = 0,75$.

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s) \leq \phi 10 \sqrt{f'_c} b_w \ell_w \quad (12.6.2.4b)$$

$$\left(\phi V_n = \phi(V_c + V_s) \leq \phi \frac{5}{6} \sqrt{f'_c} b_w \ell_w \text{ (SI)} \right)$$

12.6.3 Kekuatan geser — Kekuatan geser dinding harus dihitung sebagai berikut:

(a) Kekuatan geser dinding ke luar bidang harus dihitung sesuai dengan ketentuan untuk slab solid pada Pasal 7.4. Bila geser terfaktor V_u melebihi ϕV_c seperti yang diberikan oleh Persamaan (7.4.2b), dengan menggunakan panjang horizontal dinding ℓ_w daripada b , tebal dinding harus ditingkatkan dan berat sendiri dinding harus dikoreksi.

(b) Kekuatan geser dalam bidang harus dihitung sesuai dengan Pasal 12.6.2. Bila geser terfaktor V_u melebihi ϕV_n , seperti yang diberikan oleh Persamaan (12.6.2.1), jumlah tulangan horizontal harus ditingkatkan, sesuai dengan Pasal 12.6.2.4. Bila geser terfaktor V_u melebihi ϕV_n seperti yang diberikan oleh Persamaan (12.6.4.2b), tebal dinding harus ditingkatkan dan berat sendiri dinding harus dikoreksi.

12.7 – Perhitungan reaksi di fondasi

12.7.1 Reaksi beban vertikal — Reaksi beban vertikal R_u pada fondasi harus sama dengan nilai P_u di ujung bawah dinding tepat di atas fondasi.

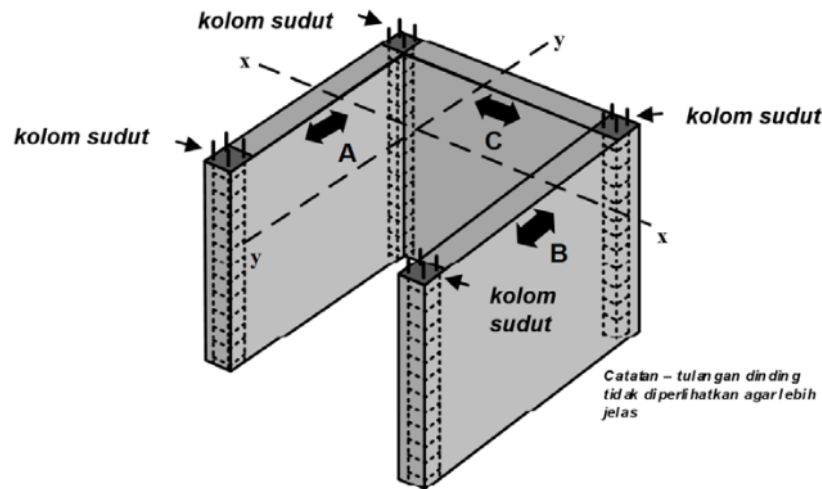
12.7.2 Reaksi momen — Reaksi dari momen tak terbalans ΔM_u pada setiap arah utama pada fondasi harus sama dengan nilai M_u pada arah yang sama di ujung bawah dinding tepat di atas fondasi. Momen tak terbalans harus didistribusikan ke elemen fondasi sebagaimana ditentukan dalam Bab 14.

12.8 – Dinding inti

12.8.1 Umum — dinding inti di bawah pedoman ini adalah dinding yang terdiri dari elemen planar yang memiliki penampang horizontal berbentuk I, U, T, atau C. Semua Bab 12 dan 11.1.5 untuk struktur yang terletak di zona seismik diberlakukan dinding inti dengan pengecualian yang tercantum dalam Pasal 12.8.

12.8.2 Kolom tertanam di sudut — Semua sudut segmen dinding planar yang berpotongan dan semua tepi dinding inti harus dilengkapi dengan kolom tertanam yang sesuai dengan batas dimensi dan penguatan untuk kolom. Jika berlaku, kolom-kolom ini harus memenuhi Pasal 11.1.5.2.

12.8.3 Beban — Beban pada dinding inti harus dihitung seperti ditunjukkan dalam Pasal 12.2 dengan pengecualian bahwa, dalam Pasal 12.2.4, sebagai ganti membedakan beban horizontal dalam bidang dan keluar bidang, beban ini harus diaplikasikan dalam sumbu utama dalam denah x dan y , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.8.3.



1 Gambar 12.8.3 – Dinding inti tipikal memperlihatkan kolom sudut tertanam.

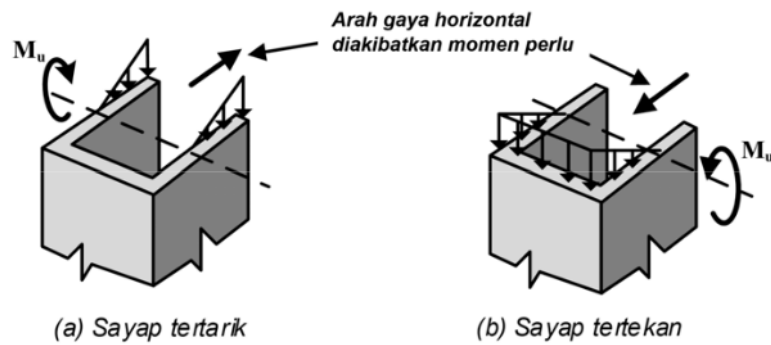
12.8.4 Batas dimensi — Batas dimensi seperti yang ditetapkan dalam Pasal 12.3.2 berlaku untuk dinding inti seperti yang ditunjukkan untuk masing-masing komponen dinding planar dari dinding inti.

12.8.5 Detail Penulangan — Detail penulangan dalam Pasal 12.4 berlaku untuk dinding inti.

12.8.6 Lentur — Beban aksial terfaktor P_u dan momen M_u pada penampang yang ditinjau harus ditentukan mengikuti Pasal 12.2. Untuk dinding inti, momen terfaktor M_u harus dihitung dalam kedua arah utama sehubungan dengan sumbu yang terletak di tengah penampang dinding ke arah yang ditinjau. Kekuatan momen untuk dinding inti harus dihitung sebagai berikut:

(a) Ketika badan atau badan dinding inti dalam kondisi tekan dan sayap dalam kondisi tarik akibat momen lentur (Gambar 12.8.6 (a)), prosedur yang sama dengan yang ditentukan untuk dinding planar harus digunakan seperti yang disajikan pada Pasal 5.12. Dimensi h sama dengan panjang dinding searah dengan gaya horisontal yang menyebabkan momen ℓ_w . Dimensi b sama dengan jumlah lebar badan yang terletak pada arah gaya horisontal yang menyebabkan momen. Tulangan vertikal harus didistribusikan sebagai A_{se} dan A_{ss} , seperti yang ditunjukkan pada Pasal 5.12.4.1, termasuk tulangan vertikal kolom tertanam dan dinding yang sesuai, tergantung pada lokasinya pada penampang dinding.

(b) Ketika badan dinding inti dalam kondisi tarik dan sayap dalam kondisi tekan akibat momen lentur (Gambar 12.8.6 (b)), karena pembatasan beban aksial diberlakukan pada Pasal 4.11.3.1, diperbolehkan mengabaikan beban aksial P_u saat menghitung kekuatan lentur ϕM_n dan menggunakan hanya tulangan longitudinal dari kolom yang tertanam dalam kondisi tarik sebagai tulangan lentur untuk menghitung kekuatan momen perlu menggunakan prosedur yang sama seperti yang disajikan untuk balok T pada Pasal 8.4.10.4. Batas sayap efektif pada Pasal 8.4.10 harus dipenuhi dengan menafsirkan panjang bentang sebagai ketinggian dinding yang diukur dari dasar dinding pada fondasi hingga ke penampang yang ditinjau. Lebar sayap efektif yang disajikan dalam 8.4.10.3 untuk balok T yang terisolasi harus digunakan ketika penampang horizontal dinding inti berbentuk T.



Gambar 12.8.6 – Prosedur untuk menghitung kekuatan momen dinding inti

12.8.7 Geser — Beban geser terfaktor V_u harus ditentukan dari beban vertikal dan dari horizontal seperti ditunjukkan oleh Pasal 12.2. Kekuatan geser ϕV_n dari dinding inti harus dihitung mengikuti Pasal 12.6.2. Hanya komponen dinding planar yang menahan geser dalam bidang searah dengan gaya horizontal yang berkontribusi terhadap kekuatan geser dinding inti. Dengan mengacu pada Gambar 12.8.3, untuk geser pada arah sumbu x, hanya elemen dinding planar C yang berkontribusi terhadap kekuatan geser dinding inti, dan untuk geser pada arah sumbu y, kedua elemen dinding planar A dan B berkontribusi pada kekuatan geser dinding inti.

BAB 13 – ELEMEN STRUKTUR LAINNYA

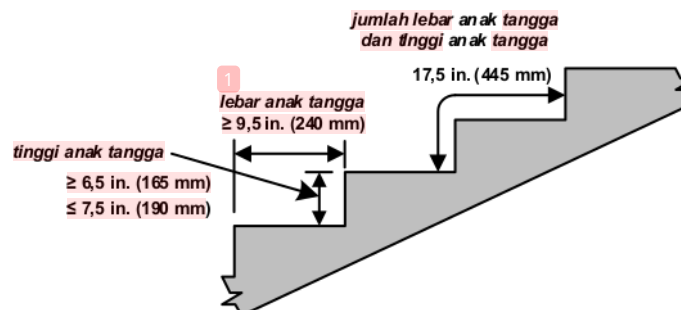
13.1 – Tangga dan ramp

13.1.1.1 Umum — Desain tangga dan ramp diatur dalam Pasal 13.1, sebagai tambahan dari Pasal 1 dan Pasal 3.

13.1.2 Tipe tangga dan ramp — Tangga dan ramp beton bertulang terdiri dari slab miring yang ditumpu di ujungnya, dengan anak tangga (*steps*) yang dibentuk pada permukaan atasnya untuk tangga. Bentang slab tangga yang tidak ditumpu harus dijaga agar tetap pendek. Jika tidak ada jeda pada tangga antar lantai, balok perantara yang ditumpu oleh kerangka struktural bangunan harus digunakan. Jika tangga antar lantai dibagi menjadi dua bagian atau lebih, balok harus menopang bordes perantara, atau slab perantara dapat digantung pada balok di tingkat lantai atas dengan menggunakan batang penggantung (kolom kecil yang mengalami tarik). Jika kondisinya memungkinkan, slab perantara dapat ditumpu langsung oleh dinding beton bertulang eksterior bangunan.

13.1.3 Batas dimensi

13.1.3.1 Umum — Peraturan desain gedung, SNI 2847 dan SNI 1727, mengatur jumlah tangga yang diperlukan dan detail lain yang berkaitan dengan tangga. Apabila tidak terdapat peraturan atau standar yang sesuai, Pasal 13.1.3.2 sampai dengan Pasal 13.1.3.7 dapat digunakan. Pasal ini menyediakan jarak maksimum dari titik terjauh pada lantai ke tangga, lebar tangga minimum, tinggi maksimum dari bagian tangga yang lurus lurus, tinggi tinggi anak tangga maksimum, lebar anak tangga minimum antara muka vertikal dari anak tangga yang berurutan, hubungan antara tinggi anak tangga dan lebar anak tangga untuk keamanan dan kenyamanan saat naik, dan rekomendasi akses untuk penyandang disabilitas.



Gambar 13.1.3.3 – Tinggi anak tangga maksimum dan tinggi anak tangga beserta lebar anak tangga minimum.

13.1.3.2 Lebar tangga minimum — Lebar tangga minimum dan dimensi minimum bordes adalah 4 ft (1,2 m).

13.1.3.3 Tinggi anak tangga maksimum dan minimum serta lebar anak tangga minimum — Tinggi anak tangga maksimum adalah 7,5 in. (190 mm). Tinggi anak tangga kurang dari 6,5 in (165 mm) sebaiknya tidak digunakan untuk tangga internal pada gedung. Lebar anak tangga minimum, tidak termasuk nosing, adalah 9,5 in (240 mm) (Gambar 13.1.3.3). Rekomendasi berikut dapat digunakan: untuk anak tangga tanpa nosing, jumlah panjang tinggi anak tangga dan lebar anak tangga adalah 17,5 in (445 mm), tetapi tinggi anak tangga tidak boleh kurang dari 6,5 in (165 mm) ataupun lebih dari 7,5 in. (190 mm).

13.1.3.4 Tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai — Untuk tangga yang melayani akses keluar dari tempat berkumpul, tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai adalah 8 ft (2,5 m). Untuk kasus lainnya, tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai adalah 12 ft (3,5 m).

13.1.3.5 Jumlah tangga — Jumlah tangga ditentukan oleh lebar slab tangga, jumlah perkiraan penghuni tiap lantai, dan dimensi luas lantai. Jumlah tangga harus ditentukan sesuai dengan peraturan di bawah ini:

(a) Jarak dari titik terjauh pada suatu lantai ke tangga atau akses keluar terdekat tidak boleh melebihi 100 ft (30 m).

(b) Panjang koridor pada suatu area tertentu tidak boleh melebihi 130 ft (40 m).

(c) Lebar gabungan untuk semua tangga pada tiap lantai harus mengakomodasi jumlah orang yang menempati luasan lantai terbesar yang dilayani oleh tangga di atas luasan lantai yang ditinjau dengan dasar perhitungan satu orang menempati 2 ft (0,6 m) lebar tangga dan 1,5 anak tangga, dan satu orang menempati 3 ft² (0,3 m²) area lantai pada bordes/lantai dan ruang pertemuan yang dilayani oleh tangga.

13.1.3.6 Ketahanan api — Untuk bangunan dengan ketinggian lebih dari 40 ft (12 m), dan gedung komersial dengan tinggi berapapun, tangga haruslah dilingkupi partisi tahan api dengan minimum ketahanan api 1 jam dan paling sedikit satu tangga menerus sampai ke atap. Tangga ornamen tal terbuka dapat digunakan untuk akses masuk utama pada lantai menuju ke lantai atasnya, apabila bukan merupakan satu-satunya tangga.

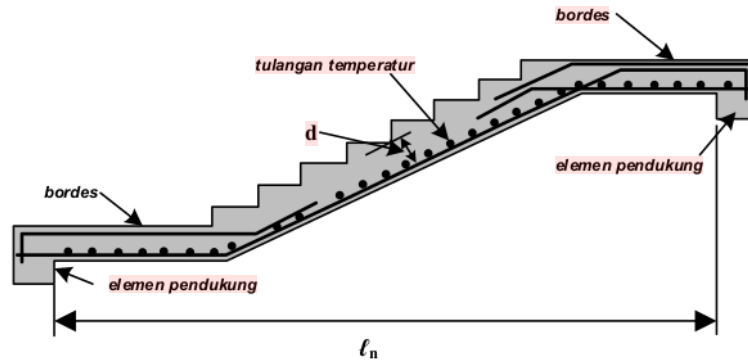
13.1.3.7 Akses untuk penyandang disabilitas — Penyandang disabilitas harus memiliki akses penuh ke gedung-gedung publik (Pasal 1.3.1). Tiap gedung publik harus menyediakan rute menerus dan tidak terhalang untuk dapat dijadikan tempat parkir kursi penyandang disabilitas fisik atau untuk mereka turun dari transportasi publik, menuju gedung, memasuki gedung, sampai ke semua lokasi pada gedung tersebut, dan memiliki akses menuju daerah dalam gedung seperti tempat kerja, toko retail, tempat pembelian tiket, tempat minum, toilet dan telepon umum. Rute tak terhalang tersebut tidak termasuk tangga, dan ramp harus disediakan. Kemiringan ramp maksimum tidak boleh melebihi sudut kemiringan vertikal berbanding horizontal 1:12.

13.1.4 Desain struktur

13.1.4.1 Umum — Tangga beton bertulang terdiri dari slab miring yang ditumpu pada kedua ujungnya oleh elemen struktur sistem lantai, atau elemen pendukung antar lantai, dengan anak tangga dibentuk pada bagian permukaan atas. Tangga dan ramp harus memenuhi persyaratan pada Pasal 13.1.4.2 sampai dengan Pasal 13.1.4.8.

13.1.4.2 Definisi beban desain — Beban desain untuk tangga dan ramp harus ditentukan sesuai dengan Pasal 4. Beban gravitasi termasuk beban mati dan beban hidup yang sesuai untuk tangga. Beban mati q_d harus termasuk berat sendiri slab dan anak tangga, dan elemen non-struktural yang datar dan tegak seperti didefinisikan dalam Pasal 4.5.3. Beban hidup q_l harus ditentukan berdasarkan Pasal 4.6. Beban total terfaktor q_u harus merupakan nilai terbesar dari kombinasi pembebanan untuk q_d dan q_l sesuai dengan Persamaan 4.2.1a dan Persamaan 4.2.1b.

13.1.4.3 Detail penulangan — Penulangan harus memenuhi syarat pada Pasal 7.3 dan Pasal 7.7.3. Apabila tangga atau ramp menerus dengan slab horizontal, tulangan longitudinal harus diteruskan lurus ke dalam slab sampai mencapai permukaan yang berlawanan dari slab eksternal di mana seharusnya tulangan tersebut dibengkokkan dan atau diteruskan sampai ke permukaan eksternal yang berlawanan seperti dijelaskan pada Pasal 5.8.1 (Gambar 13.1.4.3).



Gambar 13.1.4.3 – Detail penulangan tipikal.

13.1.4.4 Persyaratan dimensi — Batas dimensi untuk slab satu arah bentang tunggal diatur dalam Pasal 7.7.1 harus terpenuhi.

13.1.4.5 Kekuatan momen perlu — Kekuatan momen perlu, diatur dalam Pasal 7.7.2. Bentang harus sebesar jarak horizontal antar tumpuan. Pengaruh dari kemiringan dan kelengkungan slab pada perhitungan momen terfaktor boleh diabaikan.

13.1.4.6 Kekuatan geser — Geser terfaktor harus dihitung sesuai dengan Pasal 7.7.4.

13.1.4.7 Reaksi tumpuan — Reaksi tumpuan harus dihitung sesuai dengan Pasal 7.7.5.

13.1.4.8 Desain tumpuan — Elemen penumpu harus direncanakan untuk reaksi yang ditentukan dalam Pasal 13.1.4.7.

13.1.4.9 Detail konstruksi — Kebiasaan dalam pelaksanaan konstruksi adalah membuat tangga setelah rangka utama bangunan gedung selesai dikerjakan. Bagian yang dibiarkan belum dicor pada balok untuk menumpu slab tangga dan dowel disediakan untuk pengankuran yang diperlukan. Namun, ada kalanya tangga dibangun pada saat yang bersamaan dengan lantai, dan tulangan momen negatif disediakan pada tumpuan slab tangga, seperti pada konstruksi balok menerus lainnya. Anak tangga biasanya monolit dengan slab, namun hanya bisa dicetak setelah slab utama selesai dicor. Untuk kondisi tersebut, harus ada perlakuan khusus yaitu dengan menghubungkan anak tangga ke slab dengan menggunakan dowel dari tulangan berdiameter kecil.

13.2 – Tangki air kecil (untuk penyimpanan air minum)

13.2.1 Umum — Pasal 13.2.1 menyediakan tata cara sederhana untuk desain dan konstruksi tangki penyimpanan air kecil yang digunakan hanya untuk penghuni gedung tersebut. Tangki ini harus ditumpu secara struktural atau jika menumpu di tanah, harus sebagai bagian dari gedung, harus di atas permukaan atau secara parsial atau seluruhnya terpendam. Pasal 4.13.2.3 diberlakukan. Pasal 13.2 tidak boleh digunakan pada desain dan konstruksi pada struktur di lingkungan dan sanitasi umum. Panduan ini mengasumsikan bahwa perencana memiliki pengalaman terbatas mengenai tangki air, dan tidak dimaksudkan untuk menggantikan ACI 350 untuk desain tangki penyimpanan air yang berdiri sendiri. ACI 350 direkomendasikan untuk desain tangki penyimpanan air yang lebih besar dan berhubungan dengan struktur lingkungan.

13.2.2 Definisi beban

13.2.2.1 Beban yang harus diperhitungkan — Beban untuk tangki harus direncanakan berdasarkan Pasal 4. Beban-beban dari (a) sampai dengan (f) harus diperhitungkan:

(a) Beban mati: berat sendiri dari komponen tangki, dan semua beban mati yang ditumpu oleh slab atas tangki seperti elemen struktural maupun elemen non struktural, tangki yang terpendam dalam tanah, dan beban peralatan tetap.

(b) Beban hidup dari elemen struktural tributari yang ditumpu oleh tangki, beban hidup yang ditumpu oleh slab atas tangki, dan beban hidup di atas permukaan tanah dari tangki yang terpendam dalam tanah.

(c) Tekanan tanah lateral pada tangki yang terpendam.

(d) Gaya apung pada tangki kosong yang terpendam seluruhnya atau sebagian.

(e) Tekanan internal fluida dari cairan dalam tangki.

(f) Beban gempa dari tangki yang ditumpu oleh bangunan, seperti tangki yang terletak pada atap atau lantai lain sebuah gedung. Perlu diperhatikan bahwa tangki dengan isi penuh memiliki massa air yang besar dan dapat menyebabkan beban gempa yang signifikan.

13.2.2.2 Beban terfaktor — Beban terfaktor harus ditentukan dengan menggunakan beban yang tercantum pada Pasal 13.2.2.1 dan dikombinasikan dengan kombinasi pembebanan pada Pasal 4.2. Hasil dari beban terfaktor harus ditingkatkan sebesar 30% (dikalikan dengan 1,3). Untuk tangki yang dibahas pada panduan ini, perhitungan ini adalah penyederhanaan yang aman dari perhitungan secara detail di dalam ACI 350 untuk keawetan terhadap lingkungan. Secara teliti, beban yang bekerja secara bersamaan dengan beban lainnya harus diperhitungkan.

13.2.3 Batas dimensi

13.2.3.1 Selimut beton — Selimut beton minimum untuk penulangan fondasi tangki adalah 3 in. (75 mm), dan selimut beton minimum untuk penulangan lainnya pada tangki adalah 2 in. (50 mm).

13.2.3.2 Joint — Joint harus digunakan untuk membatasi perubahan volumetrik beton karena susut, rangkai, dan variasi suhu. Semua joint kontraksi atau joint konstruksi harus memiliki penghambat air (*waterstop*). Jarak maksimum antar joint tidak boleh lebih dari 12 ft (4 m).

13.2.3.3 Tebal minimum untuk dinding dan slab — Dinding dan slab tangki harus memiliki tebal minimum sebesar 8 in. (200 mm). Dinding dan slab dengan bentang bersih lebih dari 12 ft (3,5 m) harus memiliki tebal minimum sebesar 12 in. (300 mm).

13.2.4 Lentur

13.2.4.1 Rasio penulangan minimum — Rasio penulangan minimum ρ_{ℓ} dalam arah manapun adalah sebesar 0,0030.

13.2.4.2 Diameter tulangan minimum — Diameter tulangan minimum d_b adalah sebesar 3/8 in. (10 mm) untuk dinding dan slab tangki sampai dengan tebal 9 in. (225 mm), dan sebesar 1/2 in. (13 mm) untuk dinding dan slab tangki dengan tebal lebih dari 9 in. (225 mm).

13.2.4.3 Jarak antar tulangan maksimum — Jarak antar tulangan maksimum di daerah dengan momen lentur maksimum adalah sebesar 6 in. (150 mm).

13.2.4.4 *Luas penulangan lentur* — Luas penulangan lentur harus ditentukan seperti untuk slab solid dalam Pasal 7.7.

13.2.5 *Geser* — Kekuatan geser harus dihitung berdasarkan Pasal 7.7.4

13.2.6 *Beton untuk tangki* — Beton yang digunakan dalam konstruksi tangki harus memenuhi persyaratan di bawah ini:

- (a) Nilai w/c minimum adalah 0,40.
- (b) Penyelesaian luar harus dibuat sehalus mungkin dan permukaan dalam harus dibuat dengan penyelesaian akhir yang dikasarkan (*broom finish*) untuk mengurangi bahaya *slip*.
- (c) Ukuran nominal agregat maksimum yang diperbolehkan tercantum dalam Pasal 5.7. Direkomendasikan untuk menggunakan ukuran agregat terbesar untuk mengurangi susut.
- (d) Beton harus dipadatkan segera setelah dituang ke dalam cetakan.
- (e) Waktu perawatan basah (*moist curing*) minimum harus 7 hari, menjaga beton tetap lembab selama waktu tersebut. Hal ini dapat dicapai dengan mempertahankan dinding cetakan di tempatnya.

1 BAB 14 – FONDASI

14.1 – Penyelidikan tanah

14.1.1 Pemboran — Eksplorasi lapangan yang direncanakan dengan baik dan investigasi laboratorium harus dilakukan oleh seorang insinyur geoteknis yang berkualifikasi dan memiliki pengalaman di lokasi bangunan yang diusulkan. Hal itu harus sesuai dengan Pasal 14.1.1.1, Pasal 14.1.1.2, atau keduanya.

14.1.1.1 Auger manual — Beberapa jenis titik potong dikerjakan secara manual atau dengan peralatan listrik. Kedalaman lubang ini umumnya dibatasi hingga 50 ft (15 m), dengan kedalaman yang paling umum sebesar 20 ft (6 m).

14.1.1.2 Pengeboran perkusi — Uji penetrasi standar (SPT) dapat dilakukan dengan alat perkusi yang terpasang pada rig. SPT digunakan secara luas dan banyak dijadikan rujukan.

14.1.2 Pengujian di tempat — Metode investigasi harus menyediakan informasi yang merujuk pada item dalam Pasal 14.1.2.1, Pasal 14.1.2.2, dan Pasal 14.1.3.

14.1.2.1 Uji penetrasi — Dua tipe pengujian penetrasi dapat dipertimbangkan:

(a) **SPT** - SPT terdiri dari penghitungan jumlah pukulan N perlu untuk menghasilkan penetrasi 12 in. (300 mm) dari sendok split standar ke dalam tanah. Berat standar yang digunakan dalam pengujian adalah 140 lb (64 kg), dan turun dari ketinggian standar 30 in. (750 mm).

(b) Uji penetrasi kerucut (**CPT**) — CPT dilakukan dengan mendorong kerucut dengan area dasar sebesar $1,55 \text{ in}^2$ (1000 mm^2) dengan sudut 60 derajat ke dalam tanah pada laju konstan sebesar 0,79 in./s (20 mm / s). Gaya yang dibutuhkan untuk memajukan kerucut dibagi dengan area dasar adalah resistensi kerucut q_c .

14.1.2.2 Uji beban — Jika berguna, selidiki kapasitas daya dukung suatu medan dengan menggunakan uji beban elementer, dengan memenuhi syarat (a) hingga (e):

(a) Pengujian harus dilakukan di lubang yang memiliki lebar setidaknya tiga kali lipat dari pelat beban.

(b) Setelah setiap kenaikan beban, deformasi yang terjadi diamati dan dicatat.

(c) Hubungan beban dan penurunan harus ditentukan baik sampai ke titik kegagalan atau ke sebuah nilai beban sebesar tiga kali yang diantisipasi untuk layan.

(d) Kapasitas tanah tidak terfaktor izin harus ditentukan sebagai nilai yang memiliki faktor keamanan sebesar 3 untuk situasi yang paling tidak menguntungkan atau yang menghasilkan penurunan tidak lebih besar dari 1 in. (25 mm), diambil yang lebih kecil.

(e) Eksplorasi tanah di bawah fondasi setempat sampai ke kedalaman tiga kali ukuran terbesarnya untuk mengatasi salah tafsir uji.

14.1.3 Laporan penyelidikan tanah — Laporan penyelidikan tanah harus memuat, minimal, informasi yang berhubungan dengan:

(a) Lokasi

(b) Topografi lokasi

(c) Statigrafi

(d) Elevasi permukaan air tanah

(e) Elevasi permukaan tanah

(f) Kondisi lokal yang memerlukan pertimbangan khusus seperti kekuatan tanah, kompresibilitas, potensi ekspansi, komentar tentang kolapsibilitas, potensi likuifaksi, dan sejarah lokal mengenai kinerja metode konstruksi tipikal

14.2 – Kapasitas daya dukung tanah izin

14.2.1 Kapasitas daya dukung izin untuk tanah berbutir

14.2.1.1 Uji penetrasi standar — Daya dukung yang izin q_a , dalam lb/ft² (kPa [kN/m²]) untuk tanah berbutir, batu besar, tanah berbutir kasar, dan kerikil harus diestimasi sebagai hasil perkalian jumlah pukulan N, diukur dengan menggunakan uji penetrasi standar (SPT), dengan menggunakan Persamaan (14.2.1.1).

$$q_a = 220N \quad (q_a = 11N \text{ (SI)}) \quad (14.2.1.1)$$

14.2.1.2 Uji penetrasi kerucut — Untuk tanah berbutir ukuran sedang, ketika data penetrasi kerucut tersedia, daya dukung izin q_a harus dievaluasi dengan menggunakan Persamaan (14.2.1.2).

$$q_a = 0,027q_c \quad (14.2.1.2)$$

14.2.2 Kapasitas daya dukung izin untuk tanah kohesif — Kapasitas daya dukung izin q_a untuk tanah kohesif harus diambil sebesar:

$$q_a \approx q_u = 2s_u \quad (14.2.2a)$$

Ketika data SPT tersedia, hubungan yang dinyatakan dalam Persamaan (14.2.2b) harus digunakan untuk mendapatkan kapasitas dukung izin, q_a , dalam lb/ft² (kPa [kN/m²]), untuk tanah yang tidak terlalu lunak (nilai yang ditentukan tidak dapat digunakan untuk tanah yang sangat lunak).

$$q_a = 250N \quad (q_a = 12,5N \text{ (SI)}) \quad (14.2.2b)$$

Apabila data CPT tersedia, hubungan yang dinyatakan dalam Persamaan (14.2.2c) harus digunakan hanya bila jaminan konfirmasi kapasitas daya dukung tersedia

$$q_a \approx q_c / 12 \quad (14.2.2c)$$

14.2.3 Prosedur untuk mendapatkan kapasitas daya dukung izin — Prosedur untuk mengevaluasi kapasitas daya dukung yang izin q_a , dijelaskan dalam Pasal 14.2.1 dan Pasal 14.2.2, harus digunakan dalam kasus yang sesuai dengan (a) sampai dengan (g):

(a) Rekomendasi kapasitas daya dukung tanah formal dari insinyur geoteknik tidak ada atau eksplorasi situs belum dilakukan.

(b) Parameter kekuatan sesuai dengan sifat rata-rata lapisan tanah pendukung atau lapisan penopang beban yang diterapkan melalui fondasi ke tanah.

(c) Permukaan tanah hampir rata

(d) Dasar struktur horizontal

(e) Kedalaman fondasi tapak sama besar dengan lebarnya.

(f) Permukaan air adalah di bawah kedalaman dua kali lebar fondasi tapak terbesar.

(g) Dalam tanah bertingkat atau berlapis-lapis, digunakan nilai terkecil dari kekuatan tanah yang sesuai. Nilai yang diberikan pada Tabel 14.2.3 adalah kapasitas daya dukung rata-rata untuk berbagai jenis tanah pada kedalaman 3 ft (1 m). Nilai-nilai ini dapat digunakan sebagai verifikasi untuk nilai yang ditentukan melalui eksplorasi.

1
Tabel 14.2.3 – Kapasitas daya dukung maksimum izin

Tanah	Kapasitas daya dukung q_a , lb/ft ²	Kapasitas daya dukung q_a , kPa (kN/m ²)
Tanah aluvial	≤ 1.000	≤ 50
Lempung lunak	1.500	75
Lempung padat	2.000	100
Pasir basah	2.500	125
Campuran pasir dan lempung	3.000	150
Pasir halus kering (padat)	4.000	200
Lempung keras	5.000	250
Pasir kasar kering (padat)	6.000	300
Campuran pasir dan kerikil (padat)	7.000	350
Kerikil (padat)	8.000	400
Batuan lunak	12.000	600
Batuan pipih atau serpih keras	16.000	800
Batuan medium	20.000	1.000
Batuan keras	30.000	1.500

14.2.4 Peningkatan daya dukung izin untuk angin dan seismik — Daya dukung izin, q_a , ditentukan melalui prosedur dalam Bab 14, atau dari penyelidikan geoteknik, harus ditingkatkan sepertiga kali ketika dihitung untuk beban yang mencakup efek angin atau seismik.

14.3 – Kriteria penurunan

Untuk menentukan daya dukung izin, q_a , untuk tanah tertentu di lokasi tertentu, penurunan yang wajar harus ditentukan. Penurunan yang wajar bervariasi antara 1 in dan 2 in. (25 mm dan 50 mm), dan metode yang dinyatakan harus menghasilkan nilai dalam rentang itu. Preseden lokal dapat digunakan apabila tidak ada informasi tambahan tersedia; namun, jika kondisi situs sedemikian sehingga preseden tidak lagi berlaku karena tanah tertentu sangat lunak atau karena kondisi sulit lainnya diperkirakan, maka analisis geoteknis lengkap harus dilakukan.

14.4 – Dimensi komponen struktur fondasi

Area fondasi horizontal minimum yang kontak dengan tanah pendukung harus dihitung dengan cara membagi jumlah semua beban vertikal tidak terfaktor tributari terhadap komponen struktur fondasi dengan kapasitas daya dukung tanah izin, q_a .

14.5 – Fondasi tapak setempat

14.5.1 Umum — Fondasi tapak setempat harus didesain menggunakan Pasal 14.5. Fondasi tapak dinding harus sesuai dengan Pasal 14.5 dan Pasal 14.6. Pasal ini berlaku untuk fondasi tapak yang dapat mengalami momen lentur dari kolom atau dinding yang didukung. Analisis dan desain fondasi rakit solid dan fondasi dalam, seperti tiang pancang, berada di luar cakupan panduan ini.

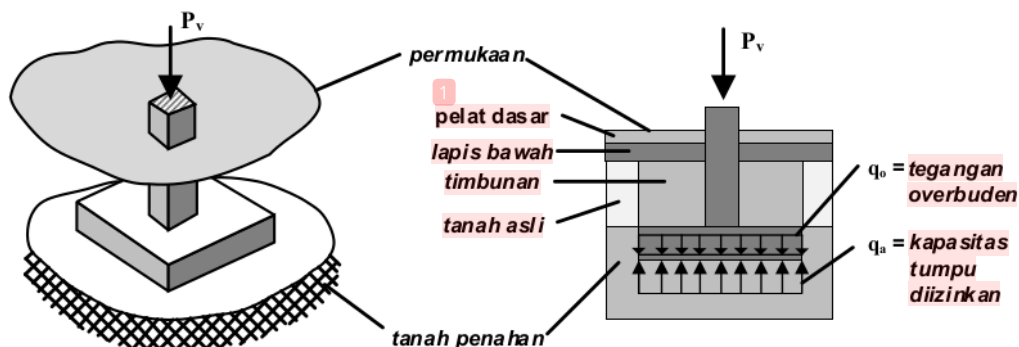
14.5.2 Definisi beban dan area dari fondasi tapak

14.5.2.1 Beban yang tercakup — Desain fondasi tapak setempat harus mencakup beban yang disebutkan dalam poin (a) sampai dengan (c), seperti ditunjukkan pada Gambar 14.5.2.1.

(a) Tanah timbunan di atas fondasi tapak, dan semua beban mati dan hidup yang diterapkan pada timbunan, ditambah berat sendiri fondasi tapak. Dapat diasumsikan bahwa fondasi tapak memiliki densitas yang sama dengan tanah untuk percobaan pertama, kemudian dikoreksi ketika ukuran fondasi tapak sudah ditentukan. Jumlah tekanan pada tanah pendukung disebut sebagai tekanan *overburden*, q_o .

(b) Efek beban tidak terfaktor yang ditransfer oleh kolom atau dinding ke fondasi tapak dari semua sumber, termasuk beban mati, hidup, angin, seismik, dan beban lainnya seperti ditentukan dalam Pasal 4, dinyatakan sebagai beban aksial, momen, dan geser tidak terfaktor.

(c) Sebagai alternatif dari (b), beban aksial tidak terfaktor dapat diperoleh dari beban tunggal tidak terfaktor, termasuk berat sendiri, dikalikan dengan tributari kolom atau dinding dari semua lantai yang didukunginya. Efek beban angin terfaktor harus dikonversikan menjadi nilai yang tidak terfaktor dengan cara membagi nilai terfaktor dengan 1,6; dan efek seismik dikonversi menjadi nilai tidak terfaktor dengan membagi nilai terfaktor dengan 1,43.



Gambar 14.5.2.1 – Gaya-gaya yang bekerja pada fondasi tapak setempat.

14.5.2.2 Beban vertikal maksimum tidak terfaktor — Beban aksial tidak terfaktor yang disebabkan oleh kolom atau dinding melalui fondasi tapak ke tanah di bawahnya, beban *overburden* yang disebabkan oleh timbunan, dan berat sendiri fondasi tapak harus digabungkan sesuai dengan kasus beban dalam Pasal 4.2 tanpa menerapkan faktor beban. Kasus (a) dan (b) harus diselidiki:

- (a) P_v , beban vertikal maksimum tidak terfaktor tidak termasuk beban angin atau seismik.
 (b) P_{ov} , beban vertikal maksimum tidak terfaktor termasuk efek guling beban lateral (angin atau seismik).

14.5.2.3 Luas fondasi tapak minimum — Luas fondasi tapak minimum, A_f , harus ditentukan dari luas terbesar yang didapatkan dari Persamaan (14.5.2.3a) atau Persamaan (14.5.2.3b).

(a) Untuk beban vertikal maksimum tidak terfaktor P_v , tidak termasuk efek guling beban lateral (angin atau seismik).

$$A_f = \frac{P_v}{(q_a - q_o)} \quad (14.5.2.3a)$$

(b) Untuk beban vertikal maksimum tidak terfaktor, P_{ov} , termasuk efek guling beban lateral (angin atau seismik).

$$A_f = \frac{P_{ov}}{(1,33 q_a - q_o)} \quad (14.5.2.3b)$$

14.5.2.4 Reaksi tanah terfaktor — Reaksi tanah net terfaktor, q_{un} , harus dihitung dengan cara membagi beban aksial terfaktor yang terbesar pada dasar kolom atau dinding, P_{ub} , dengan luas fondasi tapak. Luas fondasi tapak harus mematuhi Pasal 14.5.2.3 dan Pasal 14.5.3.

14.5.3 Batas dimensi — Dimensi fondasi tapak harus mematuhi Pasal 14.5.3.1 sampai dengan Pasal 14.5.3.7.

14.5.3.1 Bentuk tampak atas (pada denah) — Fondasi tapak setempat haruslah memiliki bentuk tampak atas (denah) berupa persegi atau persegi panjang.

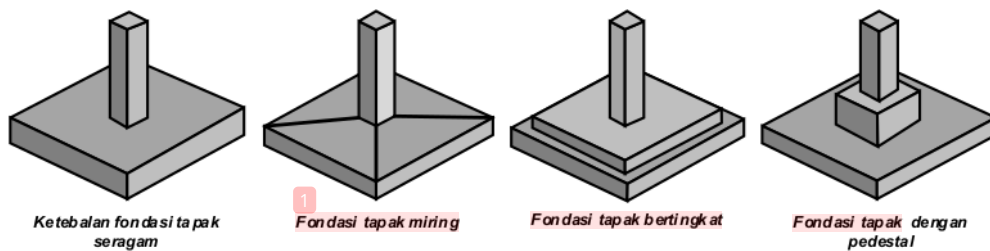
14.5.3.2 Simetri — Fondasi tapak setempat harus memiliki kolom atau dinding yang berlokasi pada sentroid area fondasi tapak. Hal ini dapat tidak berlaku jika momen yang ditimbulkan dan tekanan tanah tambahan memenuhi batas dalam Pasal 14.5.7.

14.5.3.3 Kedalaman minimum tanah pendukung — Jarak vertikal minimum dari permukaan tanah ke bagian bawah fondasi tapak adalah sebesar 3 ft (1 m).

14.5.3.4 Luas minimum fondasi tapak — Dimensi minimum fondasi tapak adalah sebesar 3 ft (1 m).

14.5.3.5 Tebal minimum fondasi tapak — Kedalaman fondasi tapak di atas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 6 in. (150 mm).

14.5.3.6 Fondasi tapak miring atau bertingkat — Pada fondasi tapak miring atau bertingkat, sudut kemiringan atau kedalaman dan lokasi tingkat harus memenuhi batas desain dan batas dimensi pada setiap bagian. Fondasi tapak miring atau bertingkat yang didesain sebagai satu unit harus dibuat untuk memastikan aksi satu unit. Gambar 14.5.3.6 menunjukkan tipe fondasi tapak setempat yang dicakup dalam panduan ini.



Gambar 14.5.3.6 – Tipe fondasi tapak setempat.

14.5.3.7 Fondasi tapak yang mendukung kolom berbentuk bundar — Untuk lokasi dari potongan kritis untuk momen, geser, dan penyaluran penulangan pada fondasi tapak, kolom beton bertulang berbentuk bundar harus diperlakukan sebagai kolom persegi dengan luas yang sama.

14.5.4 Detail penulangan

14.5.4.1 Umum — Tipe dan karakteristik penulangan dalam fondasi tapak setempat harus seperti dideskripsikan dalam Pasal 14.5.4

14.5.4.2 Lokasi penulangan — Penulangan harus disediakan di bagian bawah dari fondasi tapak setempat pada kedua arah. Penulangan harus diletakkan sedekat mungkin ke bagian bawah fondasi setempat, diikuti dengan selimut beton seperti disyaratkan pada Pasal 5.4.1. Pada fondasi tapak persegi panjang, penulangan yang sejajar dengan sisi yang lebih pendek harus diletakkan di atas penulangan yang sejajar dengan sisi yang lebih panjang. Pada fondasi tapak dinding, penulangan yang tegak lurus dengan bidang dinding harus diletakkan di bawah penulangan yang sejajar dengan bidang dinding.

14.5.4.3 Jarak spasi bersih minimum antar tulangan yang sejajar — Jarak spasi bersih minimum antar tulangan yang sejajar pada sebuah lapisan harus sebesar diameter nominal tulangan terbesar, tetapi tidak boleh kurang dari 1 in. (25 mm).

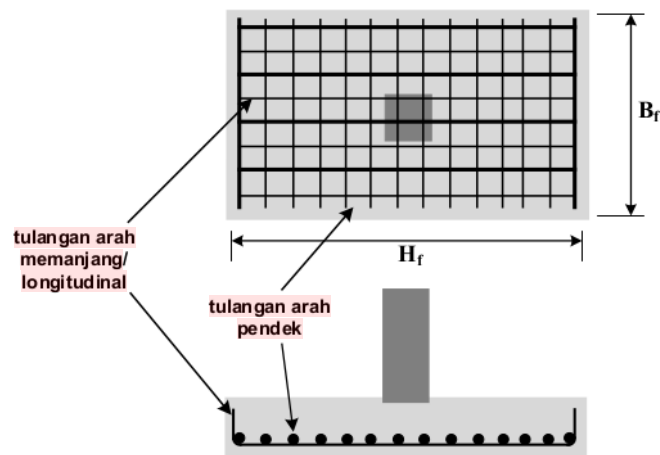
14.5.4.4 Jarak spasi maksimum — Pada fondasi telapan setempat, penulangan harus memiliki jarak tidak lebih dari tiga kali ketebalah fondasi tapak, ataupun 12 in. (300 mm). Pada fondasi tapak persegi dan persegi panjang, pada arah panjangnya, penulangan harus didistribusikan secara merata sepanjang lebarnya, sedangkan pada arah pendeknya, penulangan harus difaktor dengan nilai yang diberikan pada Persamaan (14.5.4.4) dan didistribusikan secara merata sepanjang lebar keseluruhan fondasi tapak.

$$\text{faktor} = \frac{2\beta_f}{\beta_f + 1} \quad (14.5.4.4)$$

14.5.4.5 Luas penulangan minimum — Rasio penulangan minimum, ρ_{min} , pada arah manapun adalah sebesar 0,0018.

14.5.4.6 Luas penulangan maksimum — Rasio penulangan maksimum, ρ_{max} , adalah sebesar nilai yang diberikan untuk slab dalam Pasal 7.3.4.3.

14.5.4.7 Penyaluran penulangan — Penulangan pada penampang kritis harus disalurkan pada setiap sisi dari bagian tersebut sepanjang panjang penanaman atau kait (Gambar 14.5.4.7). Penampang kritis harus diasumsikan pada lokasi yang sama seperti disebutkan dalam Pasal 14.5.6.1 untuk momen terfaktor maksimum dan pada bidang vertikal lainnya di mana terjadi perubahan penampang atau penulangan.



*Pembengkokan 90 derajat standar diperlukan ketika tambahan panjang penyaluran diperlukan dalam perhitungan

Gambar 14.5.4.7 – Distribusi penulangan pada fondasi tapak setempat berbentuk persegi.

14.5.4.8 Pemutusan penulangan — Pada fondasi tapak setempat, penulangan pada daerah momen kritis pada arah manapun harus dipertahankan sampai dengan panjang penuh pada arah tersebut dari fondasi tapak.

14.5.4.9 Ujung angkur penulangan — Tulangan harus berakhir dengan kait standar pada sisi ujung fondasi tapak jika diperlukan dalam perhitungan panjang penyaluran pada penampang kritis.

14.5.4.10 Nilai dari d_c dan d yang digunakan dalam fondasi tapak — Perhitungan d_c , yaitu jarak dari serat tarik terjauh ke sentroid dari penulangan tarik, harus mempertimbangkan selimut beton dari komponen struktur yang dicor dan terekspos secara permanen dengan tanah, diameter tulangan yang digunakan, penulangan di arah tegak lurus yang dipasang di bawah penulangan yang sedang ditinjau. Nilai d_c berikut dapat digunakan untuk menghitung d yaitu $d = h - d_c$. Untuk penulangan yang sejajar dengan arah pendek dari fondasi tapak kolom, $d_c = 4,5$ in. (115 mm).

14.5.4.11 Detail untuk transfer dari kolom atau dinding ke fondasi tapak — Beban gaya dan momen di bagian dasar kolom, dinding, atau pedestal harus ditransfer ke pedestal pendukung atau fondasi tapak dengan menumpu pada beton dan dengan penulangan. Hal-hal berikut harus berlaku:

(a) Tekanan tumpu yang diakibatkan beban terfaktor pada permukaan kontak antara komponen struktur pendukung dan yang didukung tidak boleh melebihi kekuatan tumpu beton kedua permukaan seperti diberikan dalam Pasal 5.14.

(b) Gaya tekan kolom yang melebihi kekuatan tumpu beton fondasi tapak harus ditransfer ke fondasi tapak oleh penulangan.

(c) Kedalaman fondasi tapak harus cukup untuk memungkinkan penulangan longitudinal kolom untuk berakhir dengan kait standar dan untuk menyalurkan jarak angkur seperti diatur dalam Pasal 5.8.3. Penulangan vertikal dinding harus memiliki panjang penanaman seperti diberikan dalam Pasal 5.8.1.

(d) Apabila gaya angkat diperkirakan terjadi, gaya tarik yang diantisipasi terjadi antara kolom dan fondasi tapak harus ditransfer oleh penulangan vertikal saja.

(e) Apabila menggunakan pedestal, penulangan vertikal (termasuk penulangan kolom) di dalam pedestal tidak boleh kurang dari 0,005 kali luas kotor beton dan harus memiliki pengikat sesuai dengan Pasal 10.4.3.2.

14.5.5 Geser

14.5.5.1 Umum — Kekuatan geser fondasi tapak harus dihitung sesuai dengan Pasal 9.5 untuk kedua tipe geser yang terjadi di dekat kolom, pedestal, atau dinding yang ditumpu, dan pada bagian fondasi tapak yang mengalami perubahan tebal, pada fondasi bertingkat:

(a) Geser pons atau geser aksi dua-arah pada fondasi tapak kolom

(b) Geser aksi-balok yang terjadi dengan momen lentur

14.5.5.2 Lokasi dari penampang kritis untuk geser pons — Lokasi penampang kritis untuk geser pons terletak pada jarak $d/2$ dari muka kolom, pedestal, atau lokasi perubahan tebal pada fondasi tapak bertingkat.

14.5.5.3 Kekuatan geser pons — Kekuatan geser pons perlu adalah sama dengan beban aksial terfaktor terbesar, P_{ub} , di dasar kolom. P_{ub} mungkin direduksi dengan hasil perkalian dari area yang dibatasi oleh penampang kritis dengan reaksi tanah netto, q_{un} , dari Pasal 14.5.2.4.

14.5.5.4 Kekuatan desain geser pons — Kekuatan geser pons ditentukan dengan menggunakan metode yang sama dengan sistem slab-kolom di Pasal 9.5.4 untuk kolom interior.

14.5.5.5 Kedalaman minimum fondasi tapak perlu berdasarkan geser pons — Nilai coba-coba kedalaman fondasi tapak ditentukan dari Persamaan (14.5.5.5).

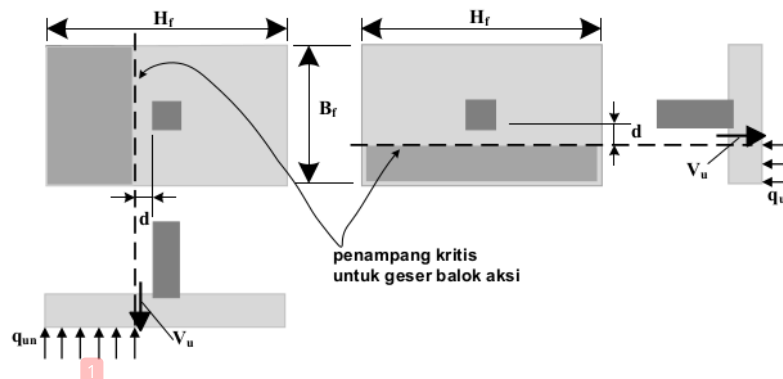
$$d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{P_u}{\phi 12 \sqrt{f'_c}}} - \left(\frac{h_c + b_c}{4}\right) \quad (14.5.5.5)$$

$$\left[d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{P_u}{\phi \sqrt{f'_c}}} - \left(\frac{h_c + b_c}{4}\right) \text{ (SI)} \right]$$

Dimensi akhir harus memenuhi Pasal 9.5.4.

14.5.5.6 Lokasi penampang kritis untuk geser aksi-balok — Lokasi penampang kritis untuk geser aksi-balok adalah pada jarak d dari muka kolom, dinding, pedestal, atau tempat perubahan tebal fondasi tapak bertingkat.

14.5.5.7 Kekuatan geser aksi-balok — Kekuatan geser aksi-balok perlu, V_u , adalah hasil perkalian dari reaksi tanah netto terfaktor, q_{un} , dari Pasal 14.5.2.4 dengan luas tributari dari fondasi tapak di luar penampang kritis seperti didefinisikan dalam Pasal 14.5.5.6 (Gambar 14.5.5.7).



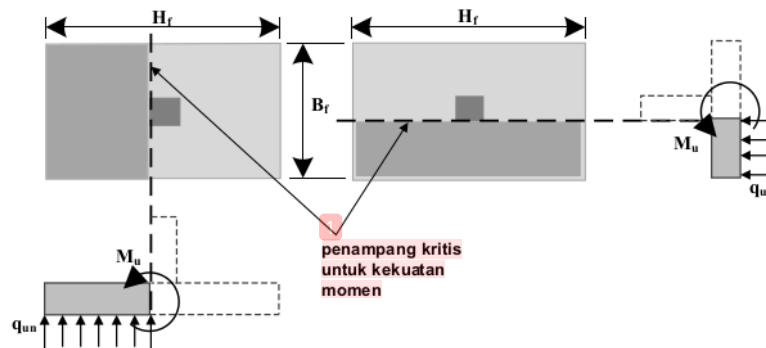
Gambar 14.5.5.7 – Area tributari untuk geser aksi-balok.

14.5.5.8 Kekuatan desain geser aksi-balok — Kekuatan geser aksi-balok ditentukan dengan menggunakan pendekatan sistem slab-kolom dalam Pasal 9.5.5.

14.5.5.9 Geser aksi-balok — Kedalaman efektif d untuk geser pons harus digunakan untuk menentukan mula-mula lokasi dari penampang kritis geser aksi-balok, luas tributari, dan kekuatan desain ϕV_c dari Persamaan (9.5.5). Ketika kekuatan desain kurang dari kekuatan perlu, maka nilai dari d harus ditingkatkan. Untuk fondasi tapak dinding, Pasal 14.6.3 harus digunakan.

14.5.6 Lentur

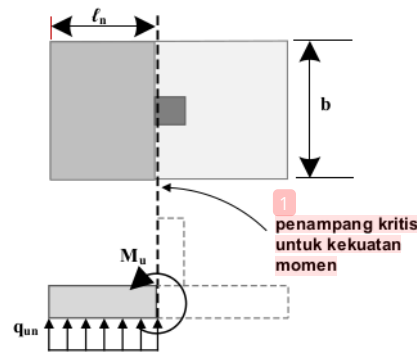
14.5.6.1 Penampang kritis untuk momen — Kekuatan momen maksimum perlu untuk fondasi tapak setempat harus dihitung pada muka kolom, dinding, atau pedestal (Gambar 14.5.6.1).



Gambar 14.5.6.1 – Penampang kritis untuk momen.

14.5.6.2 Kekuatan momen perlu — Kekuatan momen perlu, M_u , pada penampang manapun fondasi tapak harus merupakan momen kantilever dari reaksi tanah netto terfaktor q_{un} yang bekerja pada seluruh luasan fondasi tapak pada satu sisi dari bidang vertikal tersebut, dengan menggunakan Persamaan (14.5.6.2) (Gambar 14.5.6.2).

$$M_u = \frac{q_{un} \ell_n^2 b}{2} \quad (14.5.6.2)$$



Gambar 14.5.6.2 – Perhitungan untuk kekuatan momen perlu.

14.5.6.3 Kekuatan momen desain — Untuk fondasi tapak, kekuatan momen desain pada Persamaan (5.11.4.2) harus digunakan.

14.5.6.4 Perhitungan rasio penulangan lentur — Rasio penulangan lentur, $A_s/(bd)$, harus ditentukan dari Persamaan (5.11.4.4). Jika ρ kurang dari ρ_{min} , dari Pasal 14.5.4.5, maka A_s harus ditingkatkan. Jika ρ lebih dari ρ_{max} , seperti ditentukan dalam Pasal 7.3.4.3, kedalaman efektif komponen struktur d harus ditingkatkan.

14.5.6.5 Penulangan longitudinal — Penulangan longitudinal pada kedua arah utama denah dengan luas yang sesuai ditentukan dari Pasal 14.5.6.4 dan bagian fondasi tapak yang lebih bawah harus memenuhi Pasal 14.5.4.

14.5.7 Fondasi tapak yang mengalami momen eksternal

14.5.7.1 Umum — Fondasi tapak yang mengalami momen, yang disalurkan oleh kolom atau dinding, atau disebabkan eksentrisitas dari kolom atau dinding terhadap sentroid fondasi tapak (Pasal 14.5.3.2) harus didesain sesuai dengan Pasal 14.5. Ukuran mula-mula dari fondasi tapak harus ditentukan dengan menggunakan prosedur dalam Pasal 14.5.2.3. Ukuran mula-mula harus disesuaikan untuk memenuhi Pasal 14.5.7.

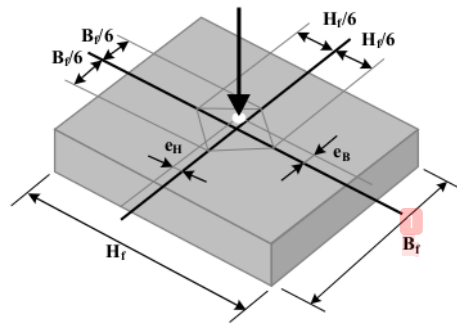
14.5.7.2 Eksentrisitas — Eksentrisitas pada kedua arah, e_H dan e_B , masing-masing sejajar dengan H_f dan sejajar dengan B_f , harus ditentukan berdasarkan (a), (b), dan (c):

(a) Bagilah momen (Pasal 14.5.2.1 (b)) yang disalurkan oleh kolom atau dinding oleh beban aksial yang menyertainya dalam kasus beban yang sama. Perhitungan ini dapat dilakukan baik untuk momen dan beban aksial tidak terfaktor maupun terfaktor.

(b) Untuk lokasi kolom atau dinding eksentris, jarak diukur sejajar dengan masing-masing arah sumbu utama, dari pusat massa kolom atau dinding ke pusat massa fondasi tapak.

(c) Untuk momen yang disalurkan oleh kolom atau dinding yang berada secara eksentris, dengan menambahkan eksentrisitas dari (a) dan (b) dengan pertimbangan tanda momen.

14.5.7.3 Pemeriksaan gaya angkat — Jika resultan dari gaya vertikal yang disalurkan oleh kolom atau dinding terletak di dalam daerah kern pada fondasi tapak (Gambar 14.5.7.3), tidak ada gaya angkat, dan tegangan tanah harus dihitung sesuai dengan 14.5.7.4. Jika hasilnya berada di luar kern, tingkatan ukuran fondasi tapak atau 14.5.7.5 harus terpenuhi.



Gambar 14.5.7.3 – Lokasi resultan untuk menghindari gaya angkat pada tapak.

14.5.7.4 Kesesuaian dengan daya dukung tanah izin: tidak ada gaya angkat — Daya dukung izin tidak boleh melebihi beban dan momen yang diterapkan. Kesesuaian harus diverifikasi dengan menggunakan Persamaan (14.5.7.4a) atau Persamaan (14.5.7.4b).

Untuk P_v , beban vertikal maksimum tidak terfaktor, tidak termasuk efek guling akibat beban lateral (angin atau seismik).

$$\frac{P_v}{B_f H_f} \left(1 + 6 \left[\frac{e_H}{H_f} + \frac{e_B}{B_f} \right] \right) \leq (q_a - q_o) \quad (14.5.7.4a)$$

Untuk beban vertikal maksimum tidak terfaktor, P_{ov} , termasuk efek guling akibat beban lateral (angin atau seismik).

$$\frac{P_{ov}}{B_f H_f} \left(1 + 6 \left[\frac{e_H}{H_f} + \frac{e_B}{B_f} \right] \right) \leq (1,33 q_a - q_o) \quad (14.5.7.4b)$$

Apabila kapasitas daya dukung izin tidak terlampaui, nilai dari q_{un} harus dihitung menggunakan Persamaan (14.5.7.4c)

$$q_{un} = \frac{P_u}{B_f H_f} \left(1 + 6 \left[\frac{e_H}{H_f} + \frac{e_B}{B_f} \right] \right) \quad (14.5.7.4c)$$

14.5.7.5 Kesesuaian dengan kapasitas daya dukung tanah izin: gaya angkat — Daya dukung izin tidak boleh melebihi beban dan momen yang diterapkan. Ketika resultan dari beban vertikal yang disalurkan oleh kolom atau dinding terletak di luar kern fondasi tapak, resultan ini harus bertepatan dengan gaya resultan dari diagram tekanan tanah (Gambar 14.5.7.5). Nilai yang sesuai dari H_f dan B_f harus dipilih untuk memenuhi Persamaan (14.5.7.5a) atau Persamaan (14.5.7.5b).

Untuk beban vertikal maksimum tidak terfaktor, P_v , tidak termasuk efek guling akibat beban lateral (angin atau seismik)

$$\frac{2 P_v}{3 B_f a_w} \leq (q_a - q_o) \quad (14.5.7.5a)$$

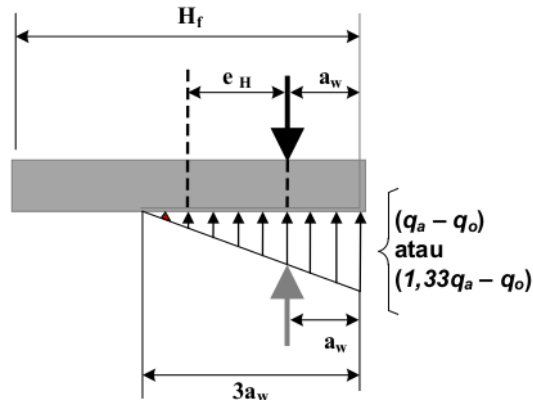
Untuk beban vertikal maksimum tidak terfaktor, P_{ov} , termasuk efek guling akibat beban lateral (angin atau seismik).

$$\frac{2 P_{ov}}{3 B_f a_w} \leq (1,33 q_a - q_o) \quad (14.5.7.5b)$$

Apabila kapasitas daya dukung izin tidak terlampaui, nilai dari q_{un} harus dihitung menggunakan Persamaan (14.5.7.5c)

$$q_{un} = \frac{2P_u}{3B_f a_w} \quad (14.5.7.5c)$$

Jika kapasitas daya dukung izin terlampaui oleh beban yang diterapkan eksentris, fondasi tapak gabungan atau distribusi momen ke balok sloof (*grade beam*) harus diselidiki. Untuk fondasi dinding, Pasal 14.6.4 harus berlaku.



Gambar 14.5.7.5 – Tekanan tanah dengan gaya angkat.

14.6 – Fondasi untuk dinding

14.6.1 Umum — Fondasi tapak menerus di bawah dinding harus di desain sesuai dengan Pasal 14.5 dan Pasal 14.6.

14.6.2 Geser — Geser pada fondasi untuk dinding harus memenuhi Pasal 14.5.5 dan dengan pengecualian yang tercantum pada Pasal 14.6.2.1 sampai dengan Pasal 14.6.2.2.

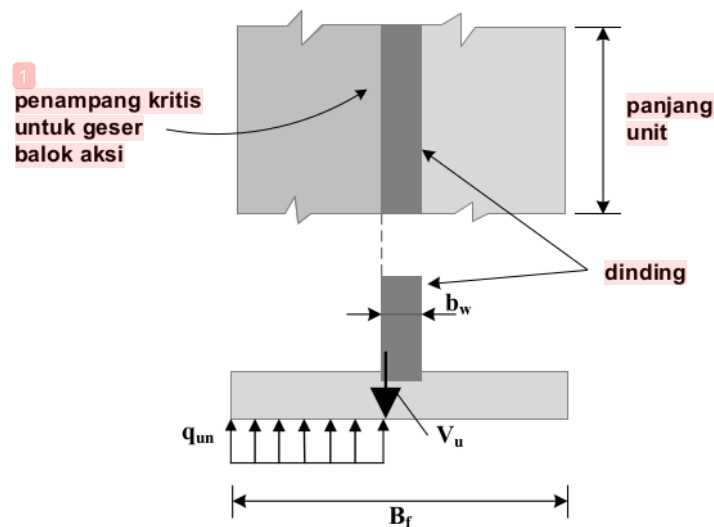
14.6.2.1 Geser pons — Geser pons pada fondasi tapak untuk dinding harus diabaikan.

14.6.2.2 Geser aksi-balok — Prosedur dalam Pasal 14.5.5.6 dan Pasal 14.5.5.7 harus dipenuhi kecuali bahwa geser aksi balok perlu harus dihitung per satuan panjang fondasi tapak pada permukaan dinding, dan untuk penyederhanaan, menggunakan Persamaan (14.6.2.2a) (Gambar 14.6.2.2). Kedalaman efektif fondasi tapak minimum d , sebagaimana dikendalikan oleh geser balok-aksi, harus ditentukan dari Persamaan (14.6.2.2b).

$$V_u = q_{un} \left(\frac{B_f - b_w}{2} \right) \ell \quad (14.6.2.2a)$$

$$d \geq \frac{q_{un}(B_f - b_w)}{\phi 4 \sqrt{f'_c}} \quad (14.6.2.2b)$$

$$\left[d \geq \frac{q_{un} 12 (B_f - b_w)}{\phi \sqrt{f'_c}} (SI) \right]$$



Gambar 14.6.2.2 – Geser balok aksi pada fondasi tapak untuk dinding.

14.6.3 Lentur— Fondasi tapak untuk dinding harus memenuhi Pasal 14.5.6 dan (a) dan (b):

(a) Elemen batas dinding zona seismik yang memiliki tepi yang terletak di dalam setengah dari kedalaman fondasi tapak dari tepi fondasi tapak harus memiliki tulangan melintang sesuai dengan Pasal 11.1.3.4 di bawah bagian atas fondasi tapak. Penguatan ini harus meluas ke fondasi tapak tidak kurang dari kedalaman fondasi tapak.

(b) Apabila efek seismik menyebabkan gaya angkat pada elemen batas pada kolom atau dinding, tulangan atas pada fondasi tapak harus disediakan dalam jumlah dan jarak yang sama dengan tulangan bawah.

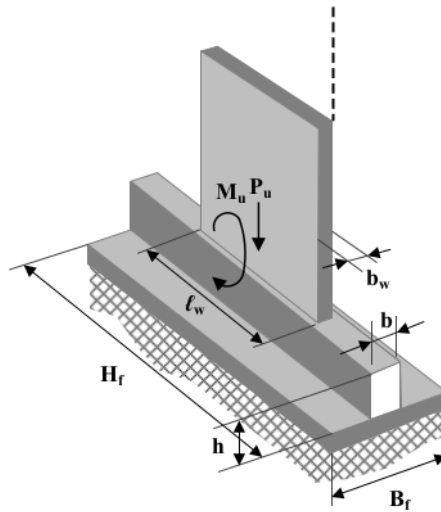
14.6.4 Momen dinding pada fondasi— Beban lateral dipikul terutama oleh dinding; oleh karena itu, ada kemungkinan bahwa momen guling dinding pada fondasi menghasilkan eksentrisitas di luar fondasi tapak yang hanya diperhitungkan untuk efek beban vertikal. Untuk eksentrisitas besar, diperpanjang fondasi tapak di bawah balok sloof harus diselidiki (Gambar 14.6.4a). Balok sloof harus memanjang secara simetris pada kedua ujung dinding. Jika ekstensi simetris tidak memungkinkan, solusi ini tidak boleh digunakan.

Dukungan tanah harus dihitung menggunakan Pasal 14.5.7.5 dengan dimensi fondasi tapak yang diperpanjang. Fondasi tapak harus didesain menggunakan prosedur pada Pasal 14.5 dan Pasal 14.6. Balok sloof harus didesain untuk momen terfaktor dan geser terfaktor yang ditentukan dari Persamaan (14.6.4a) dan Persamaan (14.6.4b), menggunakan Pasal 8.7 dan Pasal 14.2.

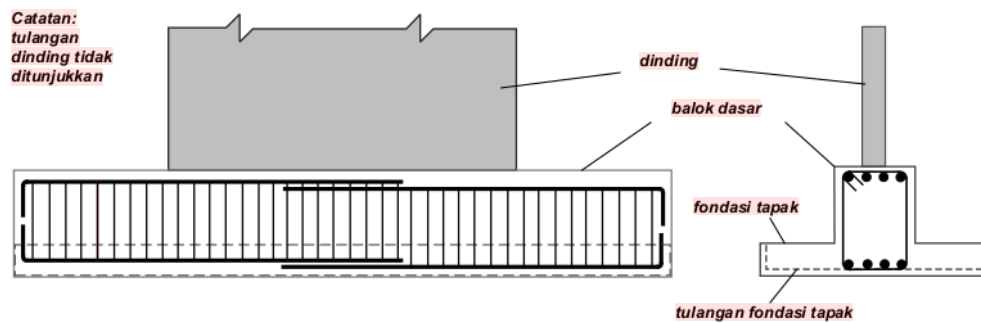
$$M_u = \frac{P_u H_f}{3} \quad (14.6.4a)$$

$$V_u = P_u \quad (14.6.4b)$$

Momen yang diperhitungkan dari Persamaan (14.6.4a) dibagi dengan faktor reduksi kekuatan harus digunakan untuk menghitung tulangan atas dan bawah pada balok. Penulangan melintang ditentukan untuk gaya geser terfaktor yang diberikan dalam Persamaan (14.6.4b) harus digunakan sepanjang bentang balok. Sambungan tulangan balok longitudinal harus ditempatkan di bawah dinding dekat pusatnya. Tata letak penulangan harus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.6.4b.



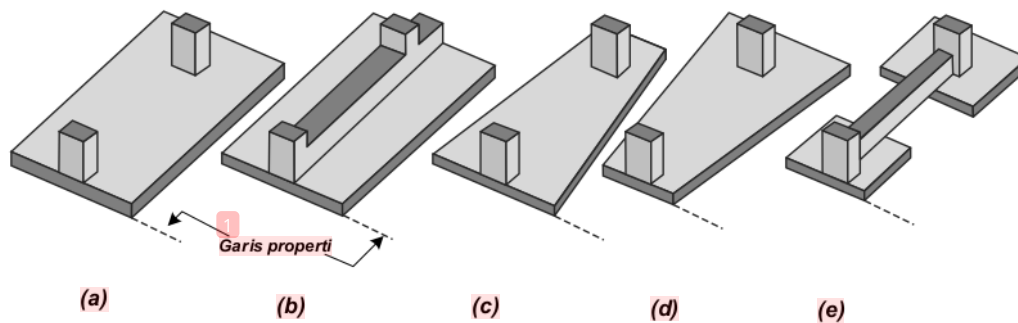
Gambar 14.6.4a – Fondasi tapak untuk dinding terekstensi dengan penggunaan balok sloof.



Gambar 14.6.4b – Tata letak penulangan balok sloof pada fondasi tapak untuk dinding.

14.7 – Fondasi tapak gabungan

14.7.1 Umum — Fondasi tapak gabungan digunakan ketika kolom berada di garis properti, sehingga tidak memungkinkan untuk membangun fondasi tapak konsentris. Menggabungkan dua kolom dalam fondasi tapak yang sama memungkinkan reaksi tanah yang seragam di bawah fondasi tapak. Gambar 14.7.1 menunjukkan beberapa jenis fondasi tapak gabungan. Tipe (a) hingga (d) tidak dicakup dalam panduan ini. Tipe (e) menghubungkan dua fondasi tapak setempat melalui balok sloof, dan dicakup dalam Pasal 14.7.2.



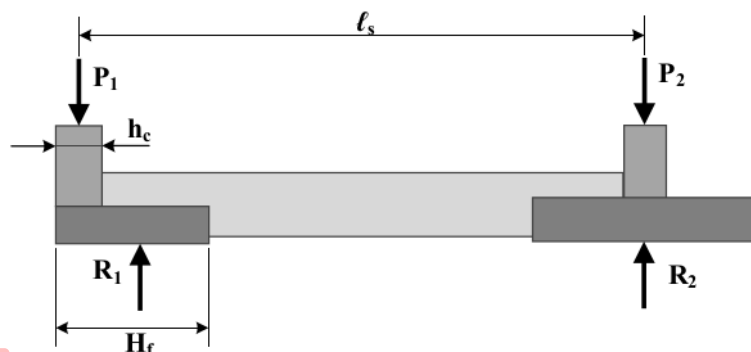
Gambar 14.7.1 – Tipe-tipe fondasi tapak gabungan.

14.7.2 Fondasi tapak gabungan yang dihubungkan oleh balok sloof

14.7.2.1 Reaksi dan dimensi umum — Fondasi tapak gabungan harus terdiri dari dua fondasi tapak setempat yang dihubungkan oleh balok sloof. Gambar 14.7.2.1 menunjukkan beban kolom dan reaksi tanah di bawah fondasi dan dimensi yang relevan.

$$R_1 = \frac{2P_1\ell_s}{2\ell_s + h_c - H_f} \quad (14.7.2.1a)$$

$$R_2 = P_1 + P_2 - R_1 \quad (14.7.2.1b)$$



Gambar 14.7.2.1 – Gaya, reaksi, dan dimensi fondasi tapak gabungan.

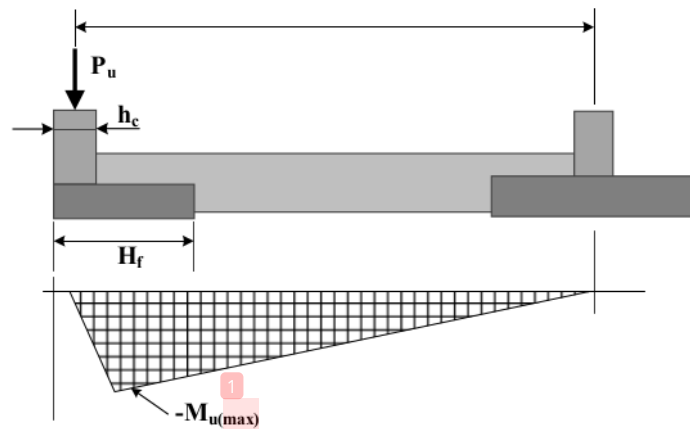
14.7.2.2 Desain fondasi tapak — Setiap fondasi tapak harus didesain sebagai fondasi tapak setempat untuk reaksi yang ditentukan dalam Pasal 14.7.2.1, menggunakan Pasal 14.5. Perhitungan geser pons untuk fondasi tapak eksentris harus menggunakan metode kolom tepi.

14.7.2.3 Desain balok — Balok sloof harus di desain menggunakan Pasal 8.7 dan Pasal 14.2 untuk gaya geser dan momen terfaktor yang ditentukan dari Persamaan (14.7.2.3a) dan Persamaan (14.7.2.3b).

$$V_u = P_u \frac{H_f - h_c}{2\ell_s + h_c - H_f} \quad (14.7.2.3a)$$

Apabila P_u adalah gaya aksial maksimum terfaktor dari kolom sisi kiri. Kekuatan momen perlu dari balok harus berupa momen negatif (menghasilkan tarik pada bagian atas balok sloof) yang bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.7.2.3. Momen terfaktor yang harus digunakan adalah

$$M_u = \frac{P_u}{2} (H_f - h_c) \quad (14.7.2.3b)$$



Gambar 14.7.2.3 – Variasi momen pada balok sloof pada fondasi tapak gabungan.

14.8 – Fondasi tiang dan *caisson*

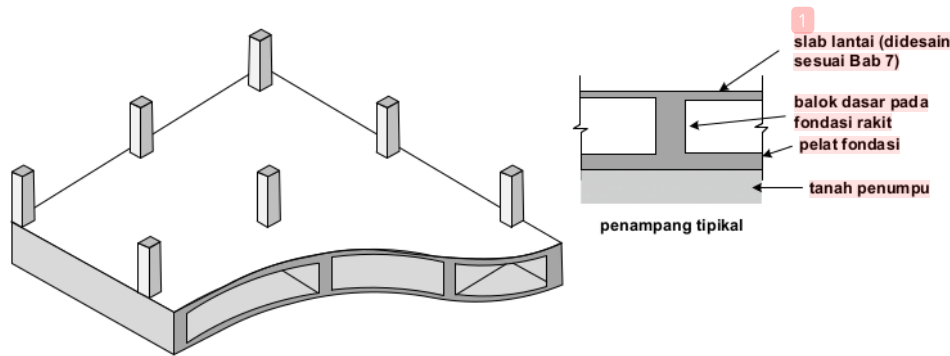
Fondasi tiang dan *caisson* harus berdimensi dan didesain sesuai dengan SNI 2847, SNI 1726 dan SNI 2716 di samping laporan rekomendasi geoteknik.

14.9 – Fondasi tapak di atas fondasi tiang

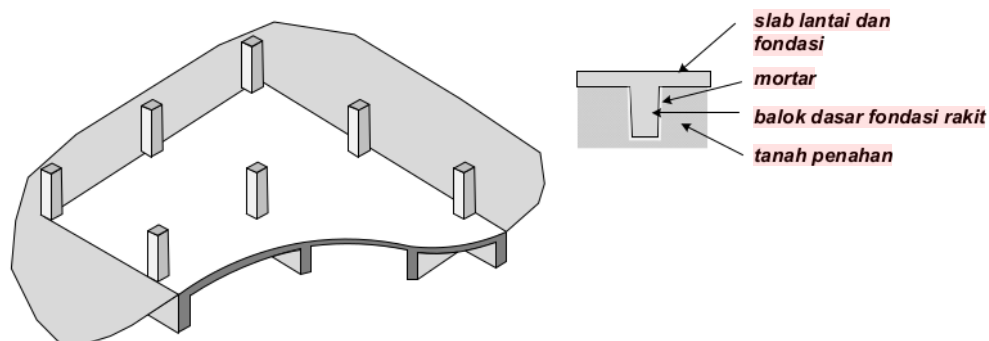
Fondasi tapak di atas fondasi tiang harus berdimensi dan didesain sesuai dengan SNI 2847, SNI 1726, dan SNI 1727 di samping laporan rekomendasi geoteknik.

14.10 – Fondasi rakit (*mat*)

14.10.1 Umum — Ketika luas fondasi tapak setempat melebihi satu setengah area proyeksi fondasi bangunan, fondasi rakit harus diselidiki. Hanya fondasi rakit dengan balok yang dicakup dalam panduan ini. Gambar 14.10.1a menunjukkan fondasi rakit dengan balok sloof terletak di atas slab yang bersentuhan dengan tanah pendukung dan membutuhkan slab tambahan untuk lantai pertama. Dalam hal ini, balok dengan memiliki tinggi yang sama dengan balok sloof dapat digunakan. Gambar 14.10.1b menunjukkan fondasi rakit dengan balok sloof yang terletak di bawah slab dan bersentuhan dengan tanah pendukung. Setiap alternatif memiliki kelebihan dari perspektif konstruksi dan biaya, meskipun prosedur desain pada dasarnya sama untuk kedua kasus. Untuk kasus yang ditunjukkan pada Gambar. 14.10.1a, cetakan yang digunakan untuk pengecoran slab lantai akan hilang, tetapi ada keuntungan memiliki ruang di bawahnya untuk utilitas dan saluran. Untuk kasus yang ditunjukkan pada Gambar 14.10.1b, tidak ada cetakan yang hilang dan tanah dapat digunakan untuk membentuk balok sloof jika ditutup dengan benar oleh beton lantai kerja.



Gambar 14.10.1a – Fondasi rakit dengan balok sloof di atas slab lantai.



Gambar 14.10.1b – Fondasi rakit dengan balok sloof di bawah slab lantai.

14.10.2 Definisi beban dan area fondasi rakit

14.10.2.1 *Beban yang harus dicakup* — Desain fondasi rakit harus memperhitungkan beban-beban pada poin (a) sampai dengan (c).

(a) Semua beban mati dan hidup terfaktor yang bekerja langsung pada slab rakit ditambah berat sendiri dari fondasi rakit. Jumlah dari beban-beban ini harus dideskripsikan menggunakan q_o

(b) Beban aksial, momen, dan gaya geser tidak terfaktor yang dipikul oleh kolom dan dinding dan ditransfer ke fondasi rakit dari semua sumber, termasuk beban mati, hidup, seismik, dan efek lainnya seperti disebutkan dalam Pasal 4.

(c) Sebagai alternatif dari (b), beban aksial tidak terfaktor dapat diperoleh dari beban satuan tidak terfaktor untuk menghitung beban terfaktor, termasuk berat sendiri, dikali dengan area tributari kolom atau dinding dari semua lantai yang didukungnya. Efek beban angin terfaktor harus dikonversi ke nilai tidak terfaktor dengan cara membagi nilai terfaktor dengan 1.6, dan efek seismik tidak terfaktor menjadi nilai tidak terfaktor dengan membaginya dengan 1.43.

14.10.2.2 *Beban vertikal maksimum tidak terfaktor* — Untuk memperoleh beban aksial total tidak terfaktor, P_v , yang bekerja pada tanah oleh fondasi rakit, beban aksial tidak terfaktor yang dipikul oleh kolom dan dinding, beban lantai, dan berat sendiri fondasi rakit harus dikombinasikan sesuai dengan kasus beban dari Pasal 4.2 tanpa menggunakan faktor beban. Lokasi dari resultan beban vertikal tidak terfaktor harus ditentukan.

14.10.2.3 *Verifikasi kapasitas daya dukung izin* — Persamaan (14.10.2.3) harus digunakan untuk menghitung tekanan tanah pendukung. Kapasitas tanah pendukung tidak boleh dilampaui.

$$\frac{P_v}{B_f H_f} \leq (q_a - q_o) \quad (14.10.2.3)$$

14.10.2.4 Eksentrisitas beban vertikal — Jarak antara resultan dari beban vertikal dan sentroid area rakit tidak boleh melebihi nilai yang ditunjukkan dalam laporan geoteknik, atau jika tidak ada, tidak boleh lebih besar dari 5 persen dari dimensi rakit terbesar, H_f . Keberadaan eksentrisitas meningkatkan kemungkinan perbedaan penurunan. Jika eksentrisitas melebihi nilai maksimum, jarak tersebut harus dikurangi dengan menambahkan atau mengurangi penampang rakit yang sesuai.

14.10.2.5 Reaksi tanah terfaktor — Reaksi netto tanah terfaktor q_{un} harus ditentukan dengan membagi jumlah beban aksial terfaktor dari semua kolom dan dinding pada perletakan, P_{un} , dengan luas rakit. Nilai ini harus digunakan untuk desain slab fondasi dan balok sloof.

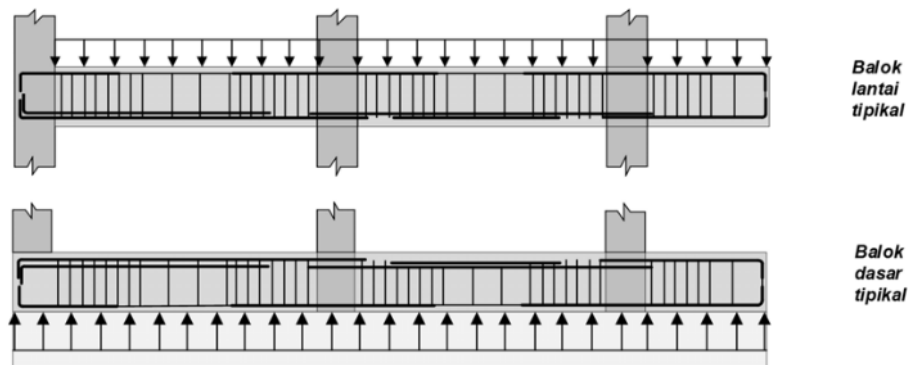
14.10.3 Prosedur desain

14.10.3.1 Umum — Prosedur ini harus digunakan dalam mendesain fondasi rakit. Terdapat beberapa aspek penting yang berhubungan dengan desain dari fondasi rakit.

(a) Meskipun tata letak slab fondasi rakit mirip dengan slab lantai biasa, tingkatan besarnya beban, apabila dibandingkan dengan slab lantai biasa, meningkat dengan suatu faktor yang sama dengan jumlah lantai bangunan.

(b) Slab fondasi rakit, seperti elemen fondasi lainnya, akan dibebani secara bertahap sesuai dengan progres pembangunan gedung. Beban-beban ini akan menyebabkan deformasi dan penurunan fondasi rakit.

(c) Beban yang bekerja pada arah yang berlawanan dari slab lantai; oleh karena itu, tulangan longitudinal pada fondasi rakit harus ditata terbalik. Tulangan momen negatif, biasanya terletak di bagian atas slab lantai, harus ditempatkan sebagai penulangan bawah pada fondasi tapak dan balok sloof. Untuk alasan yang sama, tulangan momen positif, biasanya terletak di bagian bawah elemen lantai, harus ditempatkan sebagai tulangan atas pada fondasi rakit (Gambar 14.10.3.1).



Gambar 14.10.3.1 – Tata letak penulangan pada balok.

14.10.3.2 Slab fondasi — Slab fondasi (elemen yang bersentuhan dengan tanah) harus didesain sebagai slab pada balok dengan merujuk Pasal 7, yang dibebani oleh reaksi tanah netto terfaktor, q_{un} . Berat sendiri tidak dimasukkan karena didukung langsung oleh tanah. Skema tata letak penulangan atas dan bawah pada Pasal 7 harus dibalik.

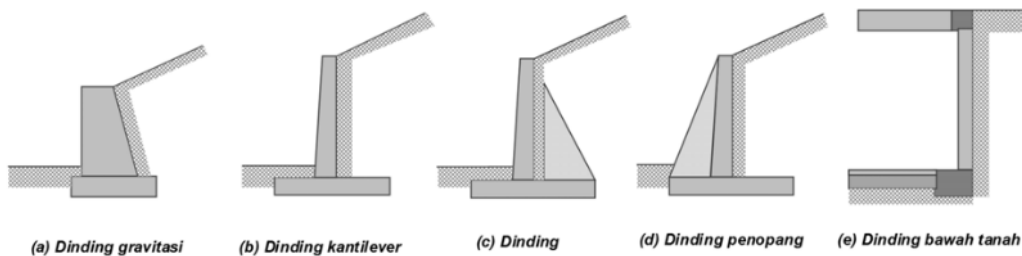
14.10.3.3 *Balok sloof pada fondasi rakit* — Balok sloof pada fondasi rakit harus didesain sebagai balok yang merupakan bagian dari rangka penahan momen dengan merujuk Pasal 8.7. Reaksi tanah netto terfaktor q_{un} harus digunakan sebagai beban total yang bekerja langsung di balok dan reaksi slab fondasi sebagai beban tributari pada balok. Berat sendiri tidak dimasukkan karena didukung langsung oleh tanah. Skema tata letak penulangan atas dan bawah pada Pasal 8.7 harus dibalik. Pada zona seismik, Pasal 11.1.2 berlaku.

14.10.3.4 *Slab lantai, jika terpisah dari slab fondasi* — Ketika slab lantai terpisah dari slab fondasi (Gambar 14.10.1a), slab lantai harus didesain sebagai slab pada balok penopang menggunakan beban lantai dalam Pasal 7. Dalam hal ini, berat sendiri harus dipertimbangkan, dan tata letak penulangan pada Pasal 7 tidak terbalik dan harus digunakan seperti yang ditunjukkan.

14.10.3.5 *Nilai d_c dan d pada fondasi rakit* — Perhitungan d_c , yaitu jarak dari serat tegangan tarik ekstrem ke sentroid tulangan, harus mempertimbangkan selimut beton, diameter tulangan, dan tulangan tegak lurus di bawah tulangan yang sedang ditinjau. Nilai d_c berikut ini dapat digunakan untuk menghitung d yaitu $d = h - d_c$. Untuk slabsolid satu arah yang merupakan bagian dari fondasi rakit dan kontak dengan tanah, dan untuk penulangan arah memendek pada slab dua arah yang merupakan bagian dari fondasi rakit yang bersentuhan dengan tanah, $d_c = 3,5$ in. (90 mm). Untuk penulangan arah panjang slab dua arah yang kontak dengan tanah, $d_c = 4,5$ in. (100 mm). Untuk balok *girder*, balok, dan balok yang merupakan bagian dari fondasi tapak, gunakan Pasal 14.12.

14.11 – Dinding penahan tanah

14.11.1 *Tipe dinding penahan tanah* — Gambar 14.11.1 menunjukkan beberapa tipe dinding penahan tanah. Tipe (a) hingga (d) adalah jepit-bebas dan harus didesain menggunakan tekanan tanah aktif. Tipe (e) ditumpu atas dan bawah; oleh karena itu, harus didesain menggunakan tekanan tanah saat diam (*at-rest*). Hanya tipe (e), dinding basement, yang dipertimbangkan dalam panduan ini. Untuk jenis lain, SNI 2847, SNI 1726 dan SNI 1727 harus digunakan.



Gambar 14.11.1 —Tipe-tipe dinding penahan tanah.

14.11.2 Tekanan tanah lateral

14.11.2.1 Umum — Nilai dari laporan geoteknik harus digunakan jika timbunan memiliki drainase yang sesuai dan dengan tekanan hidrostatik dari akumulasi air di timbunan tidak dimungkinkan. Di daerah terpencil, apabila laporan geoteknik atau informasi geoteknik lokal tidak tersedia, nilai yang diberikan pada Pasal 14.11.2 dapat digunakan. Ketika sebagian atau seluruh tanah yang berdekatan berada di bawah muka air, perhitungan harus didasarkan pada berat tanah yang dikurangi oleh daya apung ditambah tekanan hidrostatik penuh. Ketika mendesain dinding basement dan struktur vertikal yang kira-kira serupa di bawah tanah, ketentuan harus dibuat untuk tekanan lateral tanah yang berdekatan. kemungkinan beban tambahan dari beban tetap atau bergerak diperbolehkan. Tekanan tanah dinyatakan secara umum dalam persamaan linear sederhana. Meskipun perawatan ini mengabaikan beberapa karakteristik perilaku aktual, perawatan ini lebih disukai untuk penyederhanaan. Perancang, bagaimanapun, harus ingat bahwa distribusi tekanan tanah lateral sering tidak linier dan beban dari tanah cenderung bermigrasi dari yang lebih fleksibel ke bagian yang lebih kaku dari sistem. Tahap dan prosedur konstruksi memiliki pengaruh besar dalam migrasi beban ini.

14.11.2.2 Sudut gesekan internal, ϕ_s — Untuk tanah, sudut gesekan internal, ϕ_s , adalah parameter yang relevan untuk penentuan tekanan tanah lateral. Pedoman berikut harus digunakan untuk menentukan sudut gesekan internal tanah:

Tabel 14.11.2.2 – Nilai tipikal ϕ_s untuk tanah pasir kering terdiri terutama dari quartz

Kepadatan	Jumlah pukulan SPT	Sudut gesekan internal tanah
Sangat lepas	$N \leq 4$	$\phi_s \leq 28,5$ derajat
Lepas	$5 \leq N \leq 10$	$28,5 \text{ derajat} \leq \phi_s \leq 32$ derajat
Sedang	$10 \leq N \leq 30$	$32 \text{ derajat} \leq \phi_s \leq 36$ derajat
Padat	$30 \leq N \leq 50$	$36 \text{ derajat} \leq \phi_s \leq 41$ derajat
Sangat padat	$50 < N$	$41 \text{ derajat} \leq \phi_s \leq 46$ derajat

(a) Untuk pasir, hubungan diberikan oleh Persamaan (14.11.2.2) atau nilai-nilai dari Tabel 14.11.2.2 harus digunakan, dengan N adalah jumlah pukulan dari uji penetrasi standar (SPT).

$$\phi_s = 28,5^\circ + \frac{N}{4} \tag{14.11.2.2}$$

(b) Untuk pasir basah, nilai ϕ_s dari Persamaan (14.11.2.2) atau Tabel 14.11.2.2 harus diturunkan satu atau dua derajat.

(c) Untuk kerikil dan batu pecah dengan keadaan kepadatan yang sama dengan yang diberikan pada Tabel 14.11.2.2, nilai ϕ_s harus ditingkatkan dari 2 derajat hingga 6 derajat.

(d) Untuk lanau kering dan pasir sangat berlanau, nilai ϕ_s harus diambil antara 2 derajat hingga 6 derajat lebih rendah dari pada Tabel 14.11.2.2.

(e) Untuk lempung, ϕ_s tergantung pada kondisi drainase dan laju pembebanan. Nilai tipikal harus diambil antara 20 derajat hingga 30 derajat. Untuk situasi drainase lambat, nilai berkisar antara 10 derajat hingga 20 derajat.

14.11.3 Tekanan tanah saat diam — Tekanan tanah saat diam pada permukaan tanah dalam kondisi jangka panjang. Tekanan itu harus dievaluasi sebagai:

$$p_o = K_o \gamma z \tag{14.11.3a}$$

dengan

$$K_o = 1 - \sin \phi_s \tag{14.11.3b}$$

14.11.4 Tekanan tanah aktif — Tekanan tanah aktif terjadi ketika dinding bergerak sedikit dari timbunan tanah. Pada kasus ini

$$p_a = K_a \gamma z \quad (14.11.4a)$$

dengan K_a ada koefisien tekanan tanah aktif dan harus dihitung dengan menggunakan Persamaan (14.11.4b).

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi_s}{1 + \sin \phi_s} \quad (14.11.4b)$$

14.11.5 Tekanan tanah pasif — Tekanan tanah pasif terjadi ketika dinding, atau bagian manapun dari dinding, diberi gaya melawan timbunan tanah. Pada kasus ini

$$p_p = K_p \gamma z \quad (14.11.5a)$$

dengan K_p adalah koefisien tekanan tanah pasif dan harus dihitung dengan menggunakan Persamaan (14.11.5b).

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi_s}{1 - \sin \phi_s} \quad (14.11.5b)$$

14.11.6 Penggalian terbreis — Sebagian besar dinding penahan tanah untuk bangunan kecil adalah penggalian terbreis di mana dinding dijepit secara lateral di dasar, atas, dan mungkin di level lain. Dalam situasi ini, distribusi tekanan menyerupai persegi panjang atau trapesium dengan segitiga atas hilang ($0,25h_s$). Pada praktiknya, tekanan desain harus dievaluasi Sesuai Pasal 14.11.6.1 dan Pasal 14.11.6.2.

14.11.6.1 Tanah berbutir

$$p = 0,65 K_a \gamma h_s \quad (14.11.6.1)$$

14.11.6.2 Tanah kofesif

$$p = 0,2 \gamma h_s \text{ untuk } s_u \geq 2000 \text{ lb/ft}^2 (100 \text{ kPa}) \quad (14.11.6.2a)$$

$$p = 0,3 \gamma h_s \text{ untuk } 2.000 \text{ lb/ft}^2 (100 \text{ kPa}) > s_u \geq 500 \text{ lb/ft}^2 (25 \text{ kPa}) \quad (14.11.6.2b)$$

$$p = 0,4 \gamma h_s \text{ untuk } 500 \text{ lb/ft}^2 (25 \text{ kPa}) \geq s_u \quad (14.11.6.2c)$$

14.11.7 Tekanan tanah lateral minimum

14.11.7.1 Tekanan tanah aktif minimum — Beban tanah pada Tabel 14.11.7.1 harus digunakan sebagai tekanan tanah lateral kecuali disebutkan sebaliknya dalam laporan investigasi tanah. Tekanan ini adalah tekanan aktif γK_a . Tekanan lateral dari beban tambahan harus ditambahkan ke beban tekanan tanah lateral. Tekanan lateral harus ditingkatkan ketika tanah dengan potensi ekspansi ada di lokasi sebagaimana ditentukan oleh penyelidikan geoteknis.

Pada Tabel 14.11.7.1, tekanan tanah lateral diberikan untuk kondisi lembab untuk tanah tertentu pada kepadatan optimal. Kondisi lapangan yang sebenarnya harus berlaku. Tekanan tanah terendam atau jenuh harus mencakup berat tanah apung ditambah beban hidrostatik.

1
Tabel 14.11.7.1 – Tekanan tanah aktif lateral desain minimum γK_a

Deskripsi material timbunan	Klafifikasi tanah	Tekanan tanah aktif desain (lb/ft ² per feet kedalaman)	Tekanan tanah aktif desain (kN/m ² per meter kedalaman)
Kerikil bergradasi bagus dan bersih — campuran pasir kerikil	GW	120	6,0
Kerikil bersih bergradasi buruk — campuran pasir kerikil	GP	120	6,0
Kerikil halus berlanau — campuran pasir kerikil bergradasi buruk	GM	120	6,0
Kerikil berlempung — campuran kerikil dan tanah liat bergradasi buruk	GC	150	7,5
Pasir bersih bergradasi baik — campuran pasir berkerikil	SW	120	6,0
Pasir bersih bergradasi buruk — campuran pasir-kerikil	SP	120	6,0
Pasir berlanau — campuran pasir-lanau bergradasi buruk	SM	150	7,5
<i>Tipe tanah lempung dan lanau</i>			
Campuran lempung- lanau dengan butiran halus yang plastis	SM-SC	270	13,5
Pasir berlempung – campuran pasir-lempung bergradasi buruk	SC	270	13,5
Lanau inorganik dan lanau berlempung	ML	270	13,5
Campuran lanau dan lempung inorganik	ML-CL	270	13,5
<i>Tipe tanah lainnya</i>			
Lempung inorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang	CL	320	16,0
Lanau organik dan lempung berlanau, plastisitas rendah	OL	Tidak cocok dijadikan material timbunan	Tidak cocok dijadikan material timbunan
Lanau berlempung inorganik, lanau plastis	MH		
Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi	CH		
Lempung organik dan lempung berlanau	OH		

14.11.7.2 Tekanan lateral minimum saat diam — Untuk dinding rigid tertumpu lateral bagian atas dan bawah, tekanan tanah lateral pada Tabel 14.11.7.1 harus ditingkatkan sebagai berikut:

- Untuk pasir dan tanah kerikil menjadi 60 lb/ft² (9,5 kN/m²) per ft (m) kedalaman
- Untuk tipe tanah lempun dan lanau menjadi 100 lb/ft² (16 kN/m²) per ft (m) kedalaman

Kasus ini berlaku untuk tekanan tanah lateral saat diam, γK_o

14.11.8 Tekanan lateral pada dinding penahan tanah — Tekanan lateral yang disebabkan oleh tanah di sebelah dinding penahan tanah dihitung menggunakan prosedur yang dimuat dalam Pasal 14.11.8.1 dan Pasal 14.11.8.2.

14.11.8.1 *Dinding penahan tanah yang tidak dijepit lateral pada bagian atas* – Untuk dinding penahan tanah yang tidak dijepit lateral pada bagian atas yaitu pada slab gedung, tekanan lateral pada kedalaman z harus dihitung menggunakan Persamaan 14.11.8.1a

$$p_z = \gamma K_a z \quad (14.11.8.1a)$$

dengan p_z adalah tekanan lateral, dalam lb/ft² (kN/m²) pada kedalaman z , dalam ft (m), diukur dari permukaan; dan γK_a harus diberikan oleh laporan geoteknik, atau jika tidak ada, nilai minimum yang diberikan pada Tabel 14.11.7.1 dapat digunakan. Total gaya lateral yang diterapkan oleh tanah ke dinding harus ditentukan menggunakan Persamaan. (14.11.8.1b)

$$F_{ac} = \frac{1}{2} \gamma K_a h_s^2 \quad (14.11.8.1b)$$

dengan F_{ac} adalah kekuatan lateral total, dan h_s adalah ketinggian tanah terhadap dinding yang diukur dari fondasi tapak dinding ke permukaan tanah. F_{ac} harus diasumsikan bekerja pada ketinggian $h_s/3$ diukur dari dasar fondasi tapak dinding.

14.11.8.2 *Dinding penahan tanah yang dijepit lateral pada bagian atas* – Untuk dinding penahan tanah yang dijepit lateral pada bagian slab bangunan, tekanan lateral pada kedalaman z harus dihitung dengan menggunakan Persamaan (14.11.8.2a).

$$p_z = \gamma K_o z \quad (14.11.8.2a)$$

dengan p_z adalah tekanan lateral, dalam lb/ft² (kN/m²) pada kedalaman z , dalam ft (m), diukur dari permukaan; dan γK_o harus diberikan oleh laporan geoteknik atau, jika tidak ada, nilai minimum yang diberikan pada Pasal 14.11.2 dapat digunakan. Total gaya lateral yang diterapkan oleh tanah ke dinding harus ditentukan menggunakan Persamaan. (14.11.8.2b)

$$F_o = \frac{1}{2} \gamma K_o h_s^2 \quad (14.11.8.2b)$$

dengan F_o adalah gaya lateral total, dan h_s adalah ketinggian tanah terhadap dinding yang diukur dari fondasi tapak dinding ke permukaan tanah. F_o harus diasumsikan bekerja pada ketinggian $h_s/3$ diukur dari dasar fondasi tapak dinding.

14.11.9 *Beban pada dinding basement*

14.11.9.1 *Beban yang harus dicakup* — Desain dinding penahan tanah basement harus memperhitungkan beban-beban berikut ini:

(a) Tekanan tanah keluar bidang p_z , seperti yang tercantum pada Pasal 14.11.6 dan Pasal 14.11.8.2

(b) Tekanan tambahan beban vertikal keluar bidang yang berlokasi di atas timbunan, p_t , meningkatkan tekanan tanah lateral dalam nilai beban tambahan dikali dengan K_o

(c) Beban dan momen sebidang yang disebabkan oleh beban angin dan seismik, yang disalurkan oleh elemen pendukung.

(d) Beban lateral tidak terkompensasi sebidang yang disebabkan oleh beban lateral tanah (Pasal 4.13.2.3)

(e) Setiap tambahan tekanan lateral dan keluar-bidang yang disebabkan oleh tanah sesuai dengan kondisi pemadatan dari timbunan terhadap dinding. Dalam banyak kasus, pemadatan timbunan dilakukan dengan lebih efisien dengan kenyamanan pekerja paling tinggi, yaitu di bagian atas dari timbunan; inilah sebabnya panduan ini mengusulkan (pada Pasal 14.11.6) distribusi

1 tekanan tanah konservatif, seragam, keluar bidang pada dinding kecuali jika laporan investigasi geoteknis menunjukkan distribusi tekanan yang berbeda.

14.11.9.2 Efek seismik — Efek seismik, termasuk peningkatan tekanan tanah, momen dinding dalam pesawat dan momen luar pesawat, dan geser luar pesawat, harus diabaikan untuk dinding satu lantai, tertahan di atas dan bawah. Geser dalam-bidang yang ditransmisikan oleh slaf diafragma di bagian atas dinding harus dipertimbangkan.

14.11.9.3 Tekanan lateral — Tekanan lateral terfaktor, p_{lw} dan p_{utw} , pada dinding harus ditentukan dengan mengalikan tekanan p_z dan p_t , dari Pasal 14.11.6 dan Pasal 14.11.8.2 dengan faktor beban yang sesuai dari Pasal 4.2.

14.11.10 Kondisi umum untuk dinding basement

14.11.10.1 Tumpuan atas dan bawah — Dinding penahan basement dalam ruang lingkup panduan ini harus memiliki penahan lateral yang disediakan di bagian atas dinding oleh slab lantai pertama yang terekspos udara dan di bagian bawah dinding baik dengan balok sloof pada zona seismik tinggi dan sedang seperti dalam Pasal 14.12 atau oleh fondasi tapak dinding di zona resiko seismik rendah dan tanpa zona resiko seismik. Dalam kedua kasus tersebut, fondasi tapak dinding harus disediakan untuk menyalurkan beban gravitasi dari komponen berikut ke tanah: berat dinding, reaksi vertikal dari slab yang didukung oleh bagian atas dinding, dan setiap beban vertikal yang disalurkan dengan gesekan yang diproduksi oleh pemadatan timbunan dan bagian dari timbunan yang didukung langsung oleh fondasi tapak dinding. Bukaan jendela untuk keperluan penerangan dan ventilasi dapat menyebabkan masalah kolom pendek di zona seismik (Pasal 11.2.3). Dalam hal ini, pencahayaan alternatif dan ventilasi harus digunakan.

14.11.10.2 Drainase — Tekanan desain tertulis tidak memperhitungkan tekanan hidrostatik, oleh karena itu, drainase melalui saringan dan lubang drainase (*weep holes*) untuk disipasi tekanan hidrostatik harus digunakan.

14.11.10.3 Material timbunan — Material yang ditandai sebagai tidak sesuai untuk material timbunan pada Tabel 14.11.7.1 tidak boleh digunakan.

14.11.10.4 Beban tambahan — Beban tambahan yang diperkirakan selama pelaksanaan konstruksi atau penggunaan struktur harus diperhitungkan dalam desain dinding.

14.11.10.5 Tebal minimum — Tebal minimum dari dinding basement harus sebesar 7,5 in. (190 mm).

14.11.11 Detail penulangan — Dinding penahan tanah pada basement harus mematuhi Pasal 12.4.

14.11.12 Lentur — Kekuatan momen perlu dari dinding penahan basement tergantung pada distribusi tekanan tanah di luar bidang dan pengekangan rotasi di bagian atas dan bawah dinding. Pengekangan rotasi disediakan oleh slab di bagian atas dinding, balok di sepanjang dinding seperti disebutkan dalam Pasal 12.3.4, dan fondasi tapak dinding. Berdasarkan keadaan ini, kondisi pendukung berikut menghasilkan tulangan yang ditunjukkan pada Gambar 14.11.12 dengan kekuatan momen yang dibutuhkan per unit lebar dinding yang ditunjukkan pada Tabel 14.11.12

(a) *Pengekangan rotasi minimum atas dan bawah* — Dinding tidak memiliki pengekangan rotasi yang disediakan oleh elemen yang dapat menyediakannya.

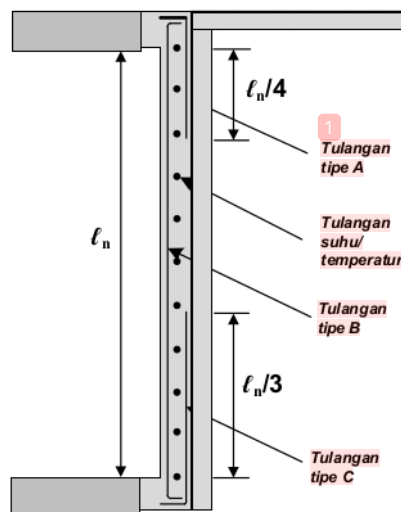
(b) *Pengekangan rotasi yang disediakan di atas dan pengekangan rotasi minimum di bawah* — Elemen slab lantai pertama memiliki kekakuan lentur yang cukup untuk menghambat setiap rotasi lentur dinding di bagian atas, sedangkan elemen yang memberikan pengekangan lateral di bagian bawah tidak memiliki kekakuan lentur untuk menghambat rotasi lentur dari dinding penahan tanah.

(c) *Pengekangan rotasi minimum di atas dan pengekangan rotasi disediakan di bawah* — Elemen slab lantai pertama hanya ditumpu sederhana pada dinding dan tidak memberikan kekakuan lentur apapun untuk menghambat rotasi lentur dinding di atas, sedangkan fondasi tapak dinding atau elemen yang memberikan pengekangan lateral pada bagian bawah dinding memiliki kekakuan lentur yang cukup untuk menghambat rotasi lentur dari bagian bawah dinding.

(d) **Pengekangan rotasi yang disediakan atas dan bawah** — Elemen slab lantai pertama memiliki kekakuan lentur yang cukup untuk menghambat setiap rotasi lentur dinding di bagian atas dan fondasi tapak dinding atau elemen yang memberikan pengekangan lateral di bagian bawah dinding memiliki kekakuan lentur yang cukup untuk menghambat rotasi lentur dari dinding bagian bawah. Area penguatan dan jarak harus ditentukan menggunakan prosedur pada Pasal 7.3 untuk slab. Perhitungan d_c , jarak dari serat tegangan ekstrem ke tulangan sentroid, harus mempertimbangkan selimut beton, diameter tulangan, dan tulangan tegak lurus yang ditempatkan antara tulangan yang dipertimbangkan dan permukaan beton. Nilai $d_c = 3,5$ in. (90 mm) harus digunakan untuk menghitung d sebagai $d = h - d_c$.

Tabel 14.11.12 – Kekuatan momen dinding penahan tanah basement yang dibutuhkan per satuan panjang dinding

Pengekangan lentur dinding			Kekuatan momen yang dibutuhkan untuk Tipe Penulangan (Gambar 4.11.12)		
Kasus	Atas	Bawah	A	B	C
a)	Bebas	Bebas	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{17} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{8}$	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{15} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{8}$	-
b)	Terkekang	Bebas	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{17} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{8}$	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{24} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{14}$	-
c)	Bebas	Terkekang	-	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{33} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{14}$	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{15} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{8}$
d)	Terkekang	Terkekang	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{30} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{12}$	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{47} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{24}$	$M_u = \frac{p_{uw}\ell_n^2}{20} + \frac{p_{utw}\ell_n^2}{12}$



Gambar 14.11.12 – Momen lentur desain dan penulangan untuk dinding basement.

14.11.13 Geser — Kekuatan geser yang dibutuhkan per unit panjang horizontal dinding untuk dinding basement harus ditentukan berdasarkan

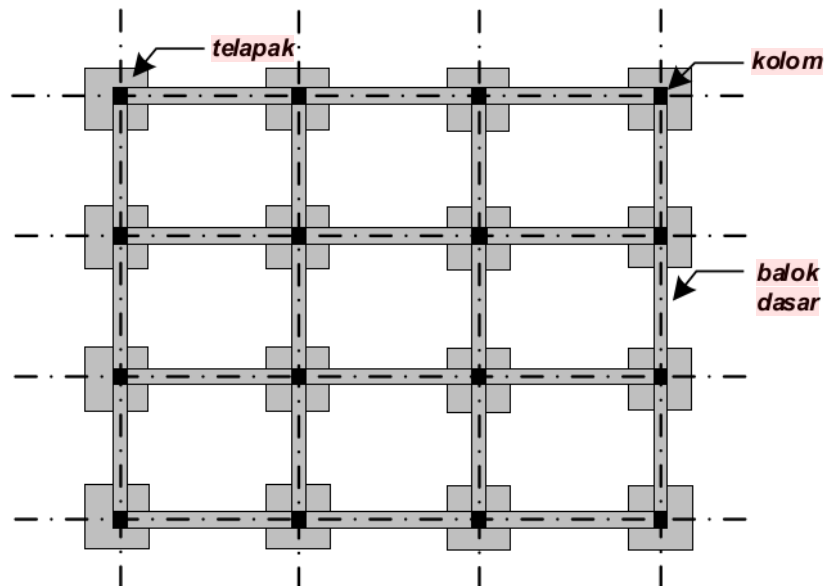
$$V_u = \frac{P_{uw}l_n}{2,5} + \frac{P_{utw}l_n}{1,67} \quad (14.11.13)$$

1 Kekuatan geser untuk slab solid dalam Pasal 7.4 harus dipenuhi.

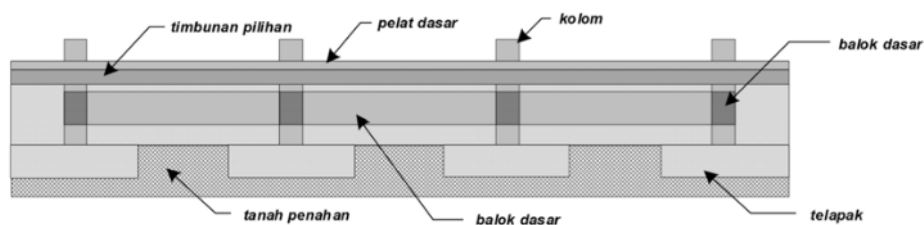
14.12 Balok sloof (balok fondasi)

14.12.1 Umum

14.12.1.1 Deskripsi — Balok sloof yang terdapat di bawah permukaan dan di atas fondasi tapak (Gambar 14.12.1.1a) harus membentuk sebuah kisi yang menyambungkan semua kolom dan dinding pada bagian dasar bangunan (Gambar 14.12.1.1b). Pada fondasi rakit, balok rakit memiliki fungsi yang sama dan berfungsi sebagai elemen pengikat.



Gambar 14.12.1.1a – Lokasi balok sloof.



Gambar 14.12.1.1b – Gambar potongan balok sloof.

14.12.1.2 Fungsi — Fungsi balok sloof meliputi (a) sampai dengan (d):

(a) Membuat penurunan gedung secara keseluruhan menjadi semakin merata karena mengizinkan redistribusi beban pada fondasi tapak dan mengurangi kemungkinan potensi terjadinya perbedaan penurunan.

(b) Pengait fondasi tapak gabungan (Pasal 14.7), momen terdistribusi akibat fondasi eksentris dan momen yang disalurkan dari kolom ke fondasi tapak.

(c) Membantu menyalurkan beban akibat momen pada dinding ke tanah.

(d) Pada zona seismik, membentuk sebuah diafragma pada level fondasi yang menghambat gerakan horizontal tidak seragam antara kolom dan dinding.

14.12.1.3 Penggunaan wajib — Penggunaan kisi dari balok sloof adalah wajib untuk zona resiko seismik sedang dan tinggi, juga untuk zona dengan resiko seismic kecil atau tidak ada.

14.12.2 Beban

14.12.2.1 Umum — Dimensi dan penulangan balok sloof harus didasarkan pada fungsi utama (Pasal 14.12.1.2), dengan kelonggaran dibuat untuk fungsi lainnya. Rekomendasi laporan geoteknik harus diperhatikan.

14.12.2.2 Perbedaan penurunan — Untuk meminimalkan perbedaan penurunan, balok kemiringan harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup untuk mentransfer beban yang dikembangkan. Kontrol kekakuan untuk bentang pendek dan kekuatan untuk bentang panjang. Balok kelas harus dimensinya untuk momen positif dan negatif yang diperhitungkan diberikan oleh Persamaan. (14.12.2.2a).

$$M_u = \frac{P_u \ell_s}{160} \quad (14.12.2.2a)$$

dengan P_u adalah gaya aksial terbesar yang dibawa oleh kolom atau dinding yang dihubungkan oleh balok sloof, dan ℓ_s adalah jarak pusat ke pusat ke kolom atau dinding tersebut. Gaya geser terfaktor untuk balok sloof harus dihitung dari Persamaan (14.12.2.2b).

$$V_u = \frac{P_u}{80} \quad (14.12.2.2b)$$

14.12.2.3 Seismik — Balok sloof harus bertindak sebagai ikatan antara kolom atau dinding yang bersebelahan. Balok sloof harus mampu menahan, baik dalam tarik maupun tekan, gaya aksial terfaktor setara dengan $0,1 S_{DS} P_u$, dengan P_u adalah gaya aksial terbesar yang diangkut oleh kolom atau dinding yang dihubungkan oleh balok sloof dan S_{DS} adalah parameter respons percepatan periode pendek seperti tercantum dalam SNI 1726 Pasal 7.13.5.2. Untuk perhitungan kekuatan tarik dan tekan, lihat Pasal 5.12.3 dan Pasal 5.12.5.

14.12.3 Batas dimensi — Balok sloof harus diproporsikan untuk menahan beban yang tercantum dalam Pasal 14.12.2, dan dimensi penampang minimum harus merupakan jarak bersih antara kolom yang terhubung dibagi dengan 40 in. (1000 mm), atau dengan 20 in. (500 mm) zona seismik, tetapi tidak perlu lebih dari 20 in. (500 mm).

14.12.4 Penulangan — Balok sloof harus memiliki penulangan longitudinal menerus yang dipasang di dalam atau melebihi kolom yang ditumpu atau diangkur pada semua lokasi yang diskontinu. Ikat tertutup harus disediakan pada jarak maksimum sebesar nilai yang lebih kecil dari satu setengah dimensi penampang ortogonal terkecil atau 12 in. (300 mm). Pada zona seismik, balok sloof harus mematuhi Pasal 11.1.2. Untuk balok sloof dan balok di atas permukaan tanah, $d_c = 4$ in. (100 mm) dapat digunakan untuk menghitung d yaitu $d = h - d_c$.

14.13– Pelat di atas tanah

14.13.1 Umum — Pasal 14.13 mencakup hanya slab interior menerus yang ditumpu pada material timbunan tertentu, sehingga berarti ditumpu oleh tanah. Apabila fondasi slab-diatas tanah digunakan untuk menyalurkan beban dari bagian lain pada struktur ke tanah pendukung, desain harus mematuhi pasal yang sesuai dalam Pasal 14. Desain perkerasan atau slab di atas tanah yang menerima beban terpusat yang cukup besar tidak dicakup dalam panduan ini.

14.13.2 Subbase — Subbase yang disiapkan harus terdiri dari material timbunan pilihan yang padat dan terbuat dari batu pecah atau kerikil dengan campuran pasir yang sesuai. Tebal minimum subbase harus sebesar 8 in. (200 mm).

14.13.3 Tebal minimum — Tebal minimum slab di atas tanah harus sebesar 4 in. (100 mm).

14.13.4 Joint — Joint kontraksi harus digunakan untuk memastikan keretakan merata ketika slab di atas tanah memendek akibat susut dan variasi suhu. Joint tersebut haruslah digergaji atau dibentuk secara manual dan memanjang setidaknya seperempat dari tebal slab. Jarak antar joint pada kedua arah harus berada pada rentang 6 sampai 20 ft (2 sampai 6 m). Apabila diperlukan, penulangan harus menerus sepanjang joint. Tidak boleh ada panal yang lebih besar dari 250 ft² (30 m²) atau memiliki sisi panjang melebihi sisi pendek nya lebih dari 25 persen.

14.13.5 Penulangan — tulangan atau tulangan kawat dilas harus digunakan ketika jarak antara sambungan kontraksi melebihi 2,5 ft (2,5 m). Penulangan harus ditempatkan kira-kira pada sepertiga tebal pelat yang diukur dari permukaan atas, sesuai dengan Pasal 5.4, selimut beton. Rasio penulangan minimum harus setengah dari nilai minimum yang diberikan oleh Pasal 7.3.3 untuk slab. Penulangan ini harus disambung dengan splais lewatan, sesuai dengan Pasal 5.8.2. Semua tulangan untuk slab di atas tanah harus didukung oleh bantalan sedekat mungkin dengan pusatnya untuk mencegah deformasi oleh pekerja atau peralatan. Pengangkatan, penarikan, atau pembuatan genangan air bukan metode yang dapat diterima untuk menempatkan tulangan.

1 BAB 15 – GAMBAR DAN SPESIFIKASI

15.1 – Umum

Konstruksi bangunan memerlukan beberapa jenis gambar yang masing-masing menggambarkan bagian penting dari proyek. Gambar-gambar ini, yang mencakup seluruh fase pekerjaan yang diperlukan untuk struktur yang sudah selesai, harus memiliki ruang lingkup 15.1.1. hingga 15.1.5.

15.1.1 Gambar situs — Gambar situs atau rencana plot mencakup:

- (a) Lokasi bangunan pada lahan
- (b) Jalur utilitas
- (c) Drainase dan struktur drainase
- (d) Jalan luar, anak tangga (*steps*), jalan lingkungan (*driveways*), dan trotoar (*curbs*)
- (e) Elevasi tanah prakonstruksi dan elevasi tanah akhir (*finished grades*)
- (f) Lokasi seluruh situs struktur, termasuk papan penanda, dinding penahan tanah, dan *paving*.

15.1.2 Gambar arsitektural — Dalam banyak kasus, gambar arsitektural merupakan dasar untuk penggambaran disiplin ilmu lain, seperti gambar struktural, mekanikal, dan elektrik. Gambar arsitektural mencakup:

- (a) Perancangan hunian dan tata guna lahan
- (b) Tampilan akhir bangunan dengan penjelasan ketinggian
- (c) Denah dan potongan lengkap dengan dimensi
- (d) Hubungan antar bahan seperti beton, baja, batu bata, kayu dan batu
- (e) Pengaturan ruangan dalam denah dengan potongan dan elevasi untuk menggambarkan detail
- (f) *Finishing* seperti plester atau ubin dinding
- (g) Langit-langit, permukaan lantai, dan fiksutur (*fixture*)

15.1.3 Gambar struktural — Gambar struktural mencakup seluruh denah dan detail yang diperlukan untuk membangun rangka bangunan dengan penjelasan dimensi kerja dan elevasi yang lengkap.

15.1.4 Gambar mekanikal — Gambar mekanikal mencakup saluran perpipaan, saluran pemanas dan pendingin udara, dan peralatan mekanikal. Instalasi pekerjaan ini sering membutuhkan konstruksi penampungan (*sump*), lubang (*pit*), dan bukaan (*opening*) di dinding dan lantai. Gambar struktural perlu mencakup detail beton pada konstruksi tersebut, sehingga gambar mekanikal hanya digunakan untuk referensi. Dalam beberapa kasus, pabrikan peralatan khusus memberikan detail gambar struktural khusus untuk menjelaskan fitur mekanikal; pada kondisi ini gambar struktural harus diberi catatan untuk merujuk ke gambar khusus tersebut.

15.1.5 Gambar elektrik — Gambar elektrik mencakup kabel listrik, konduit (*conduits*), lokasi peralatan tetap, panel kontrol, dan pompa listrik. Terkadang pembungkusan beton pada konduit membutuhkan tulangan. Pembungkusan ini harus dirinci pada gambar struktural, dengan referensi dibuat untuk gambar elektrik untuk detail spesifik.

15.2 – Gambar struktural

Gambar struktural harus dibagi menjadi gambar struktural umum dan pendetailan atau penempatan gambar dan skedul (*schedule*) terkait. Seluruh gambar struktural harus ditandatangani oleh perancang profesional bersertifikat dan harus mencakup:

- (a) Nama proyek
- (b) Tanggal dilakukan perancangan
- (c) Nama perancang profesional bersertifikat
- (d) Nama dan edisi kode berdasarkan perancangan
- (e) Beban hidup dan beban lain yang diasumsikan dalam perancangan

SNI 8900:2020

- (f) Kekuatan tekan beton pada usia konstruksi yang disyaratkan untuk masing-masing bagian struktur
- (g) Kekuatan yang disyaratkan atau mutu tulangan
- (h) Pernyataan batasan perancangan berhubungan dengan: hunian; jumlah lantai maksimum; area maksimum per lantai; panjang bentang maksimum; jumlah bentang minimum; bentang kantilever maksimum; kemiringan maksimum slab, balok utama, balok, dan *joist*; dan kemiringan maksimum medan.

15.2.1 Gambar struktural umum — Poin (a) hingga (l) harus ada pada satu set gambar struktural umum.

(a) Dimensi yang lengkap dan jelas sehingga struktur bangunan dapat dibangun tanpa mengacu pada gambar lain

(b) Ukuran dan bentuk seluruh komponen struktural individual seperti fondasi tapak (*footing*), kolom, dinding, balok, balok dan lembaran, dalam rencana, bagian, ketinggian, atau skedul, atau dalam kombinasi

(c) Elevasi pada:

- i. Bagian bawah fondasi tapak dan dinding
- ii. Level lantai dan atap
- iii. Dudukan dinding bata (*brick ledge*) pada dinding
- iv. Undak-undakan di fondasi tapak dinding

(d) Garis aliran struktur drainase

(e) Lokasi dan pendetailan *joint* konstruksi

(f) Jumlah atau spasi tulangan, posisi, bentuk, dan ukuran yang sering dicantumkan pada skedul terpisah untuk kolom, balok, *joist*, dan slab

(g) Lokasi dan panjang seluruh splais lewatan

(h) Informasi lawan lendut (*camber*) untuk komponen horisontal seperti balok dan balok utama bentang panjang, dan kantilever

(i) Potongan dari rangka khusus dan pendetailan tulangan yang diperlukan untuk menjelaskan rangka tersebut

(j) Catatan umum, seperti:

- i. Mutu baja apabila digunakan lebih dari satu mutu, masing-masing terletak di struktur
- ii. Kekuatan beton rencana untuk berbagai komponen struktural
- iii. Referensi untuk pendetailan dan penempatan gambar
- iv. Referensi kode untuk kesesuaian keseluruhan perancangan
- v. Mutu *finishing* slab beton dan tipe penumpu tulangan
- vi. Sertifikasi baja tulangan dari pabrik, jika perlu

(k) Catatan-catatan bila terdapat deviasi dari standar yang berlaku dan toleransinya, atau bila diperlukan instruksi khusus untuk kondisi kerja yang tidak biasa

(l) Diagram tipikal yang menunjukkan pengaturan tulangan untuk seluruh komponen beton dan pengaturan tulangan tumpuan dan spasinya.

Untuk rekomendasi detail lebih lanjut, lihat ACI SP-66.

15.2.2 Pendetailan dan penempatan gambar atau skedul — Pendetailan dan gambar penempatan atau skedul (*schedule*) harus memenuhi dua tujuan yang memberikan detail dari mana kontraktor atau fabrikator tulangan mendapatkan informasi yang diperlukan untuk memotong dan menekuk baja tulangan, dan detail serta instruksi penempatan tulangan pada proyek untuk pekerja.

Apabila dibuat oleh kontraktor atau fabricator, mereka menunjukkan kepada perancang bagaimana kontraktor atau fabrikator menafsirkan gambar struktural umum. Persetujuan terhadap gambar penempatan oleh perancang profesional bersertifikat menunjukkan penerimaan interpretasi tersebut.

1 Prosedur yang disarankan untuk membuat pendetailan dan gambar penempatan atau skedul tercantum dalam poin (a) hingga (e).

(a) Spesifikasi proyek dan gambar struktural umum harus digunakan untuk menyiapkan gambar penempatan, yang menunjukkan jumlah detail, panjang, diagram pembengkokan, dan posisi baja tulangan dan tumpuan.

(b) Apabila gambar elektronik tidak digunakan, kertas kalkir yang sangat transparan harus digunakan. Kertas ini harus ditumpangkan pada gambar struktural atau arsitektural. Outline pada gambar-gambar ini harus ditelusuri dan digunakan sebagai bagian dari gambar penempatan. Hal ini akan menghemat waktu detailer dalam mereproduksi secara mekanis denah, ketinggian, dan potongan penampang yang diperlukan untuk pendetailan tulangan.

(c) Saat membuat outline bangunan, hanya bagian yang diperlukan untuk pendetailan tulangan harus dilacak. Pekerjaan bata atau ubin, dinding partisi tanpa tulangan, dan detail mekanikal tidak boleh diperlihatkan. Potongan dan ketinggian yang tidak diperlukan harus dihilangkan. Secara umum, dimensi dapat dihilangkan pada gambar penempatan. Untuk keperluan konstruksi, gambar struktural dan arsitektural harus digunakan.

(d) Beberapa metode dapat menghasilkan transparansi. Reproduksi pada kertas transparan akan menghemat waktu detailer dan memastikan penelusuran kerja yang akurat untuk pendetailan. Dalam mereproduksi gambar-gambar ini, dimungkinkan untuk memblok judul, catatan, dan potongan serta detail yang tidak dibutuhkan. Detail tulangan balok kemudian harus ditambahkan ke transparansi untuk melengkapi gambar asli dan menghasilkan gambar penempatan.

(e) Gambar penempatan atau skedul harus jelas, lengkap, dan dapat dilakukan, dan mencakup seluruh informasi yang diperlukan untuk menempatkan tulangan. Operasi penempatan tulangan adalah fase konstruksi utama. Gambar yang tidak jelas menyebabkan penundaan di lapangan; memperlambat produksi kru penempatan; dan jika berkepanjangan, akan mengganggu operasi konstruksi setelah penempatan.

15.3 – Spesifikasi proyek

Spesifikasi proyek harus mencakup seluruh persyaratan, yang ditulis oleh perancang profesional bersertifikat, untuk melengkapi dan memperkuat gambar proyek. Rincian spesifikasi mengontrol persyaratan konstruksi atas gambar. Mereka harus dibagi menjadi beberapa bagian, dimulai dengan satu meliputi kondisi umum, dan diikuti dalam urutan konstruksi logis tiap bagian yang berkaitan dengan bahan dan eksekusi proses konstruksi.

Kondisi umum termasuk bentuk kontrak yang mengatur hubungan dan tanggung jawab perancang profesional, kontraktor umum, subkontraktor, pemasok bahan dan pekerja. Bagian ini juga harus mencakup instruksi umum yang mengatur distribusi gambar penempatan tulangan untuk persetujuan, dan penggunaan serta prosedur untuk mengirimkan sampel material yang diperlukan untuk pengujian atau persetujuan.

Setelah kondisi umum adalah bagian-bagian detail proyek per bagian. Setiap bagian mendefinisikan persyaratan untuk satu tahap konstruksi atau bahan.

Judul bagian tipikal adalah:

- (a) Divisi 01-Persyaratan umum
- (b) Divisi 02-Situs Konstruksi
- (c) Divisi 03-Beton
- (d) Divisi 04-Batu bata
- (e) Divisi 05-Logam
- (f) Divisi 06-Kayu dan plastik
- (g) Divisi 07-Perlindungan termal dan kelembaban
- (h) Divisi 08-Pintu dan jendela

SNI 8900:2020

- (i) Divisi 09-Finishing
- (j) Divisi 10-Spesialisasi
- (k) Divisi 11-Peralatan
- (l) Divisi 12-Perabot
- (m) Divisi 13-Konstruksi khusus
- (n) Divisi 14-Sistem pemindahan (*conveying systems*)
- (o) Divisi 15-Mekanikal
- (p) Divisi 16-Elektrikal

Divisi 03 tentang pekerjaan beton merupakan divisi utama yang membahas konstruksi yang dicakup oleh panduan ini, tetapi setiap divisi harus ditinjau untuk hal-hal yang dapat mempengaruhi perancangan struktural.

Sebagai contoh, bagian batu bata mungkin termasuk tulangan baja untuk konstruksi bata atau blok beton. Divisi baja struktural mungkin termasuk perkuatan untuk beton tahan api dari rangka atap baja struktural, balok, dan kolom.

Di dalam divisi beton terdapat sejumlah bagian. ACI 301 merupakan spesifikasi referensi untuk konstruksi bangunan beton. Beberapa bagian tipikal didaftar dan dijelaskan sebagai berikut:

- (a) Proporsi, pencampuran, penanganan, penempatan, kualitas, dan pengujian beton
- (b) Kekuatan beton dan, jika beberapa disyaratkan, yang masing-masing digunakan dalam proyek
- (c) Cetakan, jenis bahan, ereksi, pembreisan, *shoring*, dan pelepasannya
- (d) Mutu tulangan dan, jika lebih dari satu, apabila masing-masing digunakan; fabrikasi tulangan; dan toleransinya
- (e) Selimut beton di atas tulangan
- (f) Kontrol kualitas tulangan, baik dengan pengujian, penerimaan laporan uji pabrik, atau keduanya
- (g) Kelas atau jenis tumpuan tulangan, penempatan tulangan, dan pengaturan umum tumpuan tulangan
- (h) Finishing beton

Spesifikasi proyek yang disiapkan dengan cermat harus meminimalkan kebutuhan akan catatan panjang dan terperinci pada gambar. Catatan tertentu selalu mengarah pada gambar struktural karena mereka merupakan dasar, seperti kekuatan beton yang disyaratkan, bahkan jika informasi tersebut termasuk dalam spesifikasi.

BAB 16 – KONSTRUKSI

16.1 – Pendahuluan

16.1.1 Umum — Beton adalah campuran yang diproporsikan dengan baik antara semen, pasir dan kerikil atau agregat lainnya, dan air, yang mengeras menjadi bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan.

Sebagian besar material beton terdiri dari agregat halus dan kasar. Semen dan air berinteraksi secara kimiawi untuk mengikat partikel agregat menjadi massa padat. Air tambahan, yang melebihi kebutuhan untuk reaksi kimia ini, diperlukan untuk memberikan kelecakan (*workability*) yang memungkinkan campuran tersebut untuk mengisi cetakan dan meyelubungi tulangan baja yang tertanam sebelum mengeras. Sifat-sifat beton bergantung pada, sebagai faktor penting, proporsi campuran, kesempurnaan campuran antara berbagai unsur campuran, dan kondisi kelembaban dan suhu ketika campuran dirawat dari saat ditempatkan pada cetakan sampai mengeras dengan sempurna. Proses pengendalian kondisi kelembaban dan suhu ini dikenal sebagai proses perawatan beton (*curing*). Untuk menghindari produksi beton di bawah standar yang tidak disengaja, diperlukan tingkat keterampilan yang tinggi untuk melakukan kontrol dan pengawasan pada seluruh proses, mulai dari proporsi berdasarkan berat individu komponen, sampai pencampuran dan pengecoran, hingga perawatan beton (*curing*) selesai dilakukan. **Semen** — Bahan semen memiliki sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat menjadi massa padat dengan kekuatan dan durabilitas yang memadai. Semen hidrolik digunakan secara eksklusif untuk membuat beton struktural. Air dibutuhkan untuk proses kimia (hidrasi), saat bubuk semen membeku dan mengeras menjadi satu massa padat. Dari berbagai semen hidrolik yang telah dikembangkan, semen Portland adalah yang paling umum. Semen Portland adalah bubuk halus berwarna abu-abu yang sebagian besar terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Kalsium dan aluminium silikat tersebut kemudian digiling, dicampur dan disatukan menjadi klinker dalam tungku pembakaran (*kiln*), didinginkan dan digiling menjadi butiran sesuai dengan kehalusan yang diinginkan. Semen dikirim dalam jumlah besar atau dalam kantong yang berisi 94 lb (42,6 kg) semen di Amerika Serikat dan 110 lb (50 kg) semen di sebagian besar negara lain. Ketika semen dicampur dengan air untuk membentuk pasta lunak, secara perlahan-lahan pasta tersebut mengeras sampai menjadi padat. Proses ini dikenal sebagai pengikatan (*setting*) dan pengerasan (*hardening*); semen tersebut dikatakan telah set ketika telah memperoleh kekakuan yang cukup untuk menahan tekanan tertentu, kemudian semen tersebut berlanjut mengeras untuk waktu yang lama dan memperoleh kekuatan yang lebih besar. Air dalam pasta tersebut melarutkan material pada permukaan butiran semen tersebut dan membentuk gel yang secara perlahan bertambah dalam volume dan kekakuan. Hal ini menyebabkan pengerasan yang cepat pada pasta dalam 2 jam hingga 4 jam setelah air ditambahkan ke semen tersebut. Proses hidrasi terus berlanjut ke dalam butiran semen, dengan kecepatan yang semakin menurun, dengan pengakuan dan pengerasan yang terus berlanjut pada massa tersebut. Pada beton biasa, semen mungkin tidak pernah terhidrasi sepenuhnya. Struktur gel dari pasta yang mengeras merupakan penyebab utama perubahan volume pada beton karena berbagai variasi kelembaban, seperti susut pada beton saat mengering. Untuk hidrasi menyeluruh dari sejumlah semen tertentu, sejumlah air yang sama dengan sekitar 25 persen dari berat semen dibutuhkan secara kimiawi. Suatu tambahan 10 persen hingga 15 persen harus disediakan untuk memberikan mobilitas air dalam pasta semen selama proses hidrasi sehingga dapat mencapai semua partikel semen. Hal ini menghasilkan rasio air semen minimum (*w/c*) dari 0,35 sampai 0,40 berdasarkan berat. Hal ini sesuai dengan 3,5 gal. sampai 4 gal. (13 L sampai 15 L) air per 94 lb (42,6 kg) karung semen, suatu cara penjabaran rasio *w/c* yang lebih umum. Rasio air semen pada beton umumnya lebih besar dari nilai minimum ini untuk memberikan kelecakan yang diperlukan oleh campuran beton. Setiap jumlah air di atas 25 persen yang digunakan dalam reaksi kimia akan menghasilkan pori-pori dalam pasta semen. Kekuatan pasta yang telah mengeras akan berkurang, berbanding terbalik dengan proporsi fraksi volume total yang ditempati oleh pori-pori. Inilah yang menyebabkan kekuatan pasta semen sangat tergantung pada, dan berkurang seiring dengan, meningkatnya *w/c*. Proses kimia yang terlibat dalam waktu pengikatan (*setting*) dan pengerasan (*hardening*) tersebut akan melepaskan panas yang dikenal dengan sebutan

1 panas hidrasi. Pada massa beton yang besar, panas ini akan didisipasikan dengan sangat lambat dan menghasilkan kenaikan suhu dan ekspansi volume beton selama hidrasi, yang dilanjutkan dengan pendinginan dan kontraksi. Untuk menghindari keretakan dan pelemahan yang serius yang mungkin terjadi pada beton akibat proses ini, maka tindakan khusus harus dilakukan untuk mengendalikannya.

16.1.2 Agregat — Ukuran agregat maksimum harus dengan mudah masuk ke dalam cetakan dan di antara tulangan (5.7). Penggunaan agregat ringan adalah di luar lingkup Panduan ini. Pada beton struktural biasa, agregat menempati sekitar 70 persen sampai 75 persen dari volume massa yang mengeras. Sisanya terdiri dari pasta semen yang mengeras, air yang tidak terlibat dalam reaksi hidrasi semen, dan rongga udara. Dua komponen terakhir tidak ikut berkontribusi pada kekuatan beton. Secara umum, semakin padat agregat yang tercampur, semakin baik kekuatan, ketahanan terhadap cuaca, dan nilai ekonomis beton. Untuk alasan ini, gradasi ukuran partikel pada agregat sangat penting untuk menghasilkan campuran agregat yang padat. Adalah penting juga agar agregat memiliki kekuatan, durabilitas, dan tahan cuaca; permukaannya bebas dari kotoran seperti lempung, lumpur, dan bahan organik yang dapat memperlemah ikatan dengan pasta semen; dan tidak ada reaksi kimia yang tidak diinginkan terjadi antara pasta semen dan semen. Agregat alami umumnya diklasifikasikan sebagai agregat halus dan kasar. Agregat halus atau pasir adalah material yang melewati saringan dengan bukaan $\frac{1}{4}$ in. (6 mm). Sedangkan material yang lebih kasar daripada ini diklasifikasikan sebagai agregat kasar atau kerikil. Jika ingin memperoleh gradasi yang baik, agregat dapat dipisahkan menggunakan saringan menjadi dua atau tiga kelompok ukuran pasir dan beberapa kelompok ukuran agregat kasar. Beberapa ukuran agregat tersebut kemudian dapat digabungkan sesuai dengan grafik gradasi untuk menghasilkan agregat yang dapat dipadatkan dengan rapat.

16.1.3 Admiksstur — Selain komponen utama beton, admiksstur sering digunakan untuk tujuan tertentu. Ada admiksstur yang digunakan untuk meningkatkan kelecakan, mempercepat atau memperlambat waktu pengikatan (*setting*) dan pengerasan (*hardening*), membantu perawatan beton, meningkatkan durabilitas, menambah warna, dan memberikan sifat lainnya. Meskipun pengaruh yang menguntungkan dari beberapa material campuran tambahan sudah jelas, akan tetapi pengaruh lainnya harus tetap diperhatikan dengan hati-hati.

16.1.4 Tulangan — Jenis tulangan dalam panduan ini mencakup tulangan ulir, dan tulangan kawat las (5.2.5). Untuk menghasilkan interaksi tulangan yang paling efektif, perlu ada lekatan yang cukup antara kedua material sehingga pergerakan relatif antara baja tulangan dan beton di sekitarnya tidak terjadi. Lekatan ini disediakan oleh adhesi kimia yang relatif besar yang terjadi pada bidang kontak antara baja dan beton oleh kekasaran alami lapisan permukaan hasil oksidasi akibat pemanasan (*mill scale*) dari tulangan canai panas, dan oleh ulir yang berjarak rapat pada permukaan tulangan, yang mana dapat menyediakan efek saling mengunci (*interlocking*) yang tinggi dari dua material yang saling berkaitan.

16.1.5 Cetakan — Cetakan harus menghasilkan struktur akhir yang memenuhi bentuk, garis, dan dimensi komponen struktur seperti yang ditunjukkan oleh gambar desain dan spesifikasi. Cetakan harus kokoh dan cukup rapat untuk mencegah kebocoran mortar. Cetakan harus diperkaku / ditopang atau diikat dengan baik untuk mempertahankan posisi dan bentuknya. Cetakan dan tumpuannya harus direncanakan sedemikian hingga tidak merusak struktur yang telah dipasang sebelumnya. Perancangan cetakan harus mempertimbangkan kecepatan dan metode pengecoran beton dan beban konstruksi, termasuk beban vertikal, horizontal, dan tumbukan.

16.2 – Proporsi campuran beton

16.2.1 Umum — Panduan ini tidak membahas mengenai beton yang mengandung material pengikat tambahan (*supplementary cementing material – SCM*), termasuk abu terbang (*fly ash*). Seperti yang diketahui bahwa di banyak negara, seperti Amerika Serikat, abu terbang dan material semen tambahan lainnya digunakan lebih dari 50 persen dari campuran beton dan secara terus-menerus disediakan oleh produsen beton sebagai pengganti campuran tipikal. Panduan ini hanya mengacu pada kekuatan desain beton karena panduan ini ditujukan untuk para insinyur dengan akses yang terbatas pada teknologi material dan pelatihan. Untuk definisi yang lengkap terkait proporsi, berat semen, air, pasir, dan agregat kasar harus sudah tersedia.

Berbagai komponen campuran diproporsikan sedemikian sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan yang cukup, kelecakan yang cukup untuk pengecoran, dan biaya yang rendah. Biaya rendah dapat dicapai dengan menggunakan jumlah semen minimum (komponen yang paling mahal) untuk mencapai properti yang memadai. Atribut beton umumnya dipengaruhi berbagai faktor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 16.2.1. Semakin baik gradasi agregat, semakin kecil volume rongga udara, dan semakin sedikit pasta semen yang dibutuhkan untuk mengisi rongga udara tersebut. Air dibutuhkan untuk hidrasi dan untuk membasahi permukaan agregat. Ketika air ditambahkan, maka plastisitas dan fluiditas serta kelecakan akan meningkat, tetapi kekuatan akan menurun karena air dapat menghasilkan volume rongga udara yang lebih besar. Untuk mengurangi penggunaan air dan mempertahankan kelecakan, maka harus ditambahkan semen. Oleh karena itu, seperti pada pasta semen, rasio air terhadap semen (*w/c*) adalah faktor utama yang mengontrol kekuatan beton. Untuk rasio air terhadap semen (*w/c*) tertentu, harus dipilih jumlah semen minimum berdasarkan beratnya yang akan tetap memastikan kelecakan beton.

Campuran beton harus proporsional untuk menghasilkan kuat tekan rata-rata f_{cr}' yang dapat meminimalkan jumlah uji tekan yang di bawah f_c' . Penentuan f_{cr}' harus berdasarkan pada pengujian dengan umur beton 28 hari untuk dua buah benda uji silinder yang dibuat dan diuji sebagaimana dijelaskan dalam 16.5.3.2. Selain itu, proporsi bahan untuk beton harus dibuat untuk memberikan:

- (a) Kelecakan dan konsistensi yang menjadikan beton mudah dicor ke dalam cetakan dan ke celah di sekeliling tulangan dengan berbagai kondisi pelaksanaan pengecoran yang harus dilakukan, tanpa terjadinya pemisahan bahan (*segregasi*) atau *bleeding* yang berlebihan
- (b) Ketahanan terhadap paparan yang diantisipasi
- (c) Memenuhi persyaratan uji kekuatan

Proporsi beton, termasuk rasio air terhadap semen (*w/c*), harus ditetapkan berdasarkan pengalaman lapangan dan/atau hasil campuran percobaan dengan material yang digunakan.

Tabel 16.2.1 – Pengaruh terhadap atribut beton akibat peningkatan komponen campuran tunggal

Atribut	Semen	Agregat halus	Agregat kasar	Air	Entrained air	Campuran tambahan	Umur
<i>Slump</i>	-	-	+	+	+	+	
Kohesi	+	+	-	-	+	+	
Kelecakan	+	+	-	+	+	+	
Segregasi	-	-	+	+	-	-	
Sedimentasi	-	+	-	+	-	-	
Pemadatan saat basah	-	+	-	+	-	-	
<i>Bleeding</i>	-	-	+	+	-	-	
<i>Entrained air</i>	-	+	-	+		+	
Daya tahan	+	-	+	-	+	+	-
Kekuatan	+	-	+	-	-	+	+
Modulus elastis	+	-	+	-	-	+	+

Atribut	Semen	Agregat halus	Agregat kasar	Air	Entrained air	Campuran tambahan	Umur
Ketahanan terhadap beku (<i>freeze</i>)	+	-	+	-	+	+	-
Ketahanan terhadap aus (<i>wear</i>)	+	-	+	-	+	+	+
Ketahanan terhadap kimia	+	-	+	-	+	+	+
Permeabilitas	-	+	-	+	-	-	-
Eksansi saat basah	+	-	-	-	+	-	-
Penyusutan saat kering	+	-	-	+	+	-	+
Kepadatan	+	-	+	-	-	+	-
Cetakan akhir	+	+	-	-	+	+	-

16.2.2 Ketahanan

16.2.2.1 Umum — Untuk mendapatkan durabilitas beton yang sesuai, sejumlah minimum semen harus disediakan dengan menggunakan rasio air terhadap semen (*w/c*) di bawah nilai yang ditentukan dan dengan menentukan kuat tekan minimum untuk beton yang diinginkan. Namun panduan ini tidak menyediakan rekomendasi campuran untuk bangunan dengan kebutuhan durabilitas khusus.

16.2.2.2 Perhitungan rasio air terhadap semen (*w/c*) — Rasio air terhadap semen yang ditentukan pada 16.2.2 harus dihitung dengan menggunakan berat air dalam beton, lb/yd³ (kg per m³), yang dibagi dengan semen pada campuran beton dalam lb/yd³ (kg per m³). Penggunaan abu terbang, *pozzolan*, *slag*, dan *silica fume* berada diluar cakupan Panduan ini, dan jika digunakan, maka harus sesuai dengan standar pada Bab 17.

16.2.2.3 Paparan terhadap *freeze and thaw* — Beton yang terpapar *freeze and thaw* atau bahan kimia penghilang lapisan es harus diberi tambahan gelembung udara (*air entrained*) dengan total 6 persen kandungan udara untuk kondisi paparan parah dan 5 persen untuk kondisi paparan sedang. Toleransi kadar udara pada beton segar harus sebesar ±1,5 persen. Tambahan gelembung udara tidak boleh digunakan untuk beton yang diperkeras permukaannya dengan *trowel*.

16.2.2.4 Paparan terhadap kondisi khusus — Untuk paparan yang diberikan pada Tabel 16.2.2.4, beton harus sesuai dengan rasio air terhadap semen (*w/c*) maksimum dan kuat tekan beton minimum yang ditentukan.

16.2.2.5 Paparan terhadap sulfat — Ketika sulfat yang dapat terlarut dalam air (SO₄) terdapat dalam tanah dan memiliki konsentrasi lebih besar dari 0,10 persen dari beratnya atau terdapat pada air dengan lebih dari 150 bagian per juta (150 ppm), maka beton yang terpapar larutan atau tanah yang mengandung sulfat ini harus memiliki rasio air terhadap semen (*w/c*) tidak kurang atau sama dengan 0,45 berdasarkan berat dan kuat tekan minimum *f_c'* sebesar 4500 psi (31 MPa). Jika tersedia, disarankan untuk menggunakan semen yang tahan terhadap sulfat. Kalsium klorida sebagai material campuran tambahan tidak boleh digunakan pada beton yang terpapar sulfat.

Tabel 16.2.2.4 – Properti beton untuk berbagai kondisi paparan

Kondisi paparan	w/c maksimum berdasarkan berat	f_c' minimum, psi	f_c' minimum, MPa
Beton yang diharapkan memiliki permeabilitas rendah ketika terpapar air	0,45	4.000	28
Beton yang terpapar <i>freeze and thaw</i> dalam kondisi lembab atau bahan kimia penghilang lapisan es	0,45	4.500	31
Untuk perlindungan terhadap korosi tulangan pada beton yang terpapar klorida dari bahan kimia penghilang lapisan es, garam, air asin, air payau, air laut, atau percikan dari bahan-bahan tersebut	0,4	5.000	35

16.2.2.6 Paparan terhadap ion klorida — Untuk perlindungan terhadap korosi tulangan pada beton, konsentrasi maksimum ion klorida yang larut air dalam beton yang telah mengeras pada usia 28 hari sampai 42 hari yang dihasilkan dari bahan-bahan air, agregat, semen, dan material campuran tambahan tidak boleh melebihi batasan pada Tabel 16.2.2.6.

Tabel 16.2.2.6 – Kadar ion klorida maksimum untuk perlindungan tulangan terhadap korosi

Jenis elemen	Kadar ion klorida (Cl ⁻) larut air maksimum dalam beton, persen berdasarkan berat semen
Beton bertulang yang terpapar klorida pada kondisi layan	0,15
Beton bertulang yang akan dalam kondisi kering atau terlindung dari kelembaban pada kondisi layan	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

16.2.3 Kuat tekan rata-rata — Kuat tekan rata-rata f_{cr}' untuk beton harus 1.500 psi (10 MPa) lebih besar dari kuat tekan beton yang direncanakan f_c' . Ketentuan ini melebihi yang disyaratkan dalam pedoman ACI 214R, yaitu sebesar 1.200 psi (8 MPa) karena kontrol kualitas dianggap lebih rendah di area terpencil.

16.2.4 Proporsi campuran beton — Proporsi campuran beton harus ditetapkan dari produsen yang berpengalaman di lapangan atau campuran percobaan (*trial mix*) dengan menggunakan kombinasi bahan untuk pekerjaan yang akan dilakukan, dengan menggunakan setidaknya tiga rasio air terhadap semen (w/c) yang berbeda sesuai dengan persyaratan durabilitas dalam 16.2.2; batas *slump* dari Tabel 16.2.4; dan memenuhi kekuatan rata-rata yang disyaratkan f_{cr}' . Campuran percobaan harus dirancang untuk menghasilkan *slump* di dalam rentang $\pm 3/4$ in. (20 mm) dari batas maksimum yang diizinkan. Untuk setiap w/c , setidaknya tiga silinder harus dibuat dan dirawat sesuai dengan ASTM C192/192M dan diuji pada 28 hari sesuai dengan ASTM C39/39M. Dari hasil uji silinder, sebuah kurva harus diplot yang menunjukkan hubungan antara w/c dan kuat tekan.

Produsen beton yang berpengalaman di lapangan harus mempunyai catatan uji kekuatan yang tidak lebih dari 12 bulan, dan deviasi standar benda uji s_s harus didapatkan. Catatan pengujian dari mana s_s dihitung harus:

SNI 8900:2020

(a) Mewakili material, prosedur kontrol kualitas, dan kondisi yang serupa dengan yang diharapkan, dan perubahan-perubahan pada material ataupun proporsi campuran dalam data pengujian tidak perlu dibuat lebih ketat dari yang digunakan pada pekerjaan yang akan dilakukan.

(b) Mewakili beton yang dibuat untuk memenuhi kekuatan yang disyaratkan atau kekuatan tekan f_c' pada kisaran 1.000 psi (7 MPa).

(c) Terdiri dari sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlahnya sekurang-kurangnya 30 hasil pengujian.

Rasio air semen (w/c) yang digunakan pada konstruksi harus merupakan nilai yang ditentukan dari grafik untuk kekuatan rata-rata yang disyaratkan pada 16.2.3. *Slump* harus diukur sesuai dengan ASTM C143/C143M. Rasio air semen (w/c) yang lebih tinggi dapat digunakan dengan bahan tambahan beton (aditif), seperti material campuran tambahan untuk mengurangi air dengan jumlah besar (*high range water reducing*).

Tabel 16.2.4 – Batas *slump* untuk berbagai jenis konstruksi

Jenis konstruksi	<i>Slump</i> , in. (mm)	
	Maksimum	Minimum
Tapak fondasi dinding beton bertulang	3 (75)	1 (25)
Fondasi tapak beton polos dan dinding fondasi <i>caisson</i>	3 (75)	1 (25)
Balok dan dinding beton bertulang	4 (100)	1 (25)
Kolom	4 (100)	1 (25)
Pavement dan slab	3 (75)	1 (25)
Beton massa (<i>Mass concrete</i>)	2 (50)	1 (25)

16.3 – Penempatan tulangan

16.3.1 Pembengkokkan — Semua tulangan harus dibengkokkan dalam keadaan dingin. Tulangan yang sudah tertanam sebagian di dalam beton tidak boleh dibengkokkan di lapangan.

16.3.2 Kondisi permukaan tulangan — Pada saat dicor, tulangan harus bebas dari lumpur, minyak, atau pelapis bukan logam lainnya yang dapat mengurangi lekatan. Tulangan dengan karat, sisik tulangan, atau kombinasi keduanya, dapat dianggap memenuhi syarat, asalkan dimensi minimum (termasuk tinggi ulir) dan berat benda uji yang disikat dengan tangan menggunakan kawat baja tidak boleh lebih kecil dari spesifikasi standar ASTM yang berlaku.

16.3.3 Penempatan dan pengamanan — Tulangan harus ditempatkan secara akurat dan ditumpu secukupnya sebelum beton dicor, dan harus diamankan terhadap pergerakan dalam toleransi yang diizinkan pada 16.3.4. Pengelasan pada tulangan yang bersilangan tidak diizinkan untuk perakitan tulangan.

16.3.4 Toleransi penempatan tulangan — Tulangan harus ditempatkan dalam toleransi yang diberikan pada 16.3.4.1 dan 16.3.4.2.

16.3.4.1 Toleransi untuk tinggi dan tebal selimut — Tinggi elemen d dan selimut beton yang disyaratkan pada girder, balok, join, dinding, dan kolom harus seperti yang ditetapkan pada Tabel 16.3.4.1, kecuali bahwa ketentuan toleransi untuk jarak bersih ke sisi bawah (*soffits*) harus $-1/4$ in. (6 mm), dan toleransi untuk tebal selimut tidak boleh melebihi $1/3$ tebal selimut beton minimum yang ditunjukkan pada 5.4.

Tabel 16.3.4.1 – Toleransi untuk tinggi dan tebal selimut minimum

	Toleransi untuk tinggi d	Toleransi untuk selimut beton yang disyaratkan
$d \leq 8$ in. (200 mm)	$\pm 3/8$ in. (10 mm)	-3/8 in. (-10 mm)
$d > 8$ in. (200 mm)	$\pm 1/2$ in. (13 mm)	-1/2 in. (-13 mm)

16.3.4.2 Toleransi untuk lokasi pembengkokkan — Toleransi untuk lokasi memanjang dari bengkokkan dan ujung tulangan harus sebesar ± 2 in. (50 mm), kecuali toleransi harus sebesar $\pm 1/2$ in. (13 mm) pada ujung tak menerus komponen struktur.

16.4 – Campuran beton dan transportasi

16.4.1 Umum — Semua beton harus dicampur dan ditransportasi ke tujuan akhir mengikuti ketentuan 16.4. Pada semua pekerjaan, kecuali pekerjaan lapangan yang kecil, pengadukan dilakukan di tempat produksi (*batching plant*). Tempat penyimpanan (*hopper*) yang berbeda digunakan untuk semen dan berbagai macam agregat. Proporsi dikontrol berdasarkan beratnya, dengan timbangan yang dioperasikan secara manual atau otomatis, yang terhubung ke *hopper*. Pencampuran air dilakukan dengan tangki pengukur atau dengan meter air. Tujuan utama pencampuran adalah untuk menghasilkan campuran semen, air, agregat halus dan kasar, dan material campuran tambahan dengan konsistensi yang seragam di setiap adukan. Hal ini dicapai dengan menggunakan mesin pencampur dengan tipe drum berputar (*revolving-drum*). Pada proyek-proyek yang besar, terutama jika tersedia lahan yang cukup, maka tempat pencampur (*mixing plant*) yang dapat dipindahkan (*moveable*) dapat dipasang dan dioperasikan di lokasi proyek. Pada konstruksi di tempat yang padat, pekerja lapangan yang lebih kecil, dan sering kali pada konstruksi jalan raya, digunakan beton siap pakai (*ready mixed*). Beton tersebut diaduk di tempat pengadukan permanen dan kemudian diangkut ke lokasi proyek menggunakan truk dengan salah satu dari tiga cara berikut: 1) dicampur sepenuhnya di tempat pengadukan permanen dan diangkut menggunakan truk *agigator*; 2) campuran transit (*transit-mixed*) yaitu campuran beton dihasilkan dari tempat pengadukan, tetapi dicampur dalam truk pencampur (*truck mixer*); 3) dicampur sebagian di tempat pengadukan dan kemudian pencampuran hingga selesai dilanjutkan menggunakan truk pencampur (*truck mixer*).

Beton harus dikeluarkan dari alat pencampur atau *agigator* dalam waktu maksimum $1\frac{1}{2}$ jam setelah air ditambahkan ke adukan beton. Dalam kondisi cuaca panas, waktu maksimum sebelum dikeluarkan harus ditinjau.

Pada kebanyakan bangunan, beton dipindahkan dari alat pencampur atau truk menggunakan gerobak atau alat angkut lainnya secara horizontal atau dengan memompa beton melalui pipa baja. Hal utama yang harus diperhatikan selama pemindahan (*conveying*) adalah pemisahan agregat dari pasta semen (segregasi). Tiap-tiap komponen bahan beton cenderung akan terpisah karena bahan yang berbeda-beda. Pada beton yang terlalu basah dalam wadah penampung atau cetakan, komponen kerikil yang lebih berat cenderung mengendap dan material yang lebih ringan, terutama air akan naik. Gerakan secara lateral, seperti aliran beton dalam cetakan cenderung memisahkan kerikil dari komponen campuran yang lebih halus. Bahaya pemisahan (segregasi) mengakibatkan penggunaan metode dengan talang (*chutes*) dan ban pengantar (*conveyor belt*) tidak dapat dipakai untuk meminimalkan kecenderungan segregasi ini.

Pengecoran adalah proses pemindahan beton segar dari alat pemindah ke tempat akhir dalam cetakan. Sebelum dicor, karat pada tulangan harus dihilangkan, cetakan dibersihkan, dan permukaan yang mengeras dari beton sebelumnya dibersihkan dan dirawat dengan baik. Pengecoran dan pemadatan sangat penting pengaruhnya terhadap kualitas akhir beton. Pengecoran yang baik harus menghindari terjadinya segregasi, perubahan bentuk cetakan atau tulangan dalam cetakan, dan lekatan yang kurang baik antara lapisan beton. Segera setelah dicor, beton harus dipadatkan menggunakan alat manual atau vibrator. Pemadatan mencegah adanya rongga, memastikan kontak

yang rapat dengan cetakan dan tulangan, dan berfungsi sebagai perbaikan parsial terhadap kemungkinan segregasi yang terjadi sebelumnya. Kompaksi dapat dicapai dengan pemadatan menggunakan tangan dengan berbagai alat, dan pada umumnya saat ini menggunakan vibrator dengan frekuensi getaran yang tinggi. Penggunaan vibrator dapat dilakukan dengan cara internal yaitu dimasukkan ke dalam beton, atau dengan cara eksternal yaitu dengan menempelkan vibrator pada cetakan. Cara internal lebih baik, tetapi harus dibantu dengan cara eksternal pada cetakan yang sempit atau terdapat hambatan lainnya yang tidak memungkinkan untuk memasukkan vibrator ke dalam beton.

16.4.2 Persiapan peralatan dan tempat pengecoran — Persiapan sebelum pengecoran harus mencakup:

- (a) Peralatan untuk pencampuran dan pengangkutan beton harus bersih
- (b) Sampah atau kotoran harus dibersihkan dari cetakan yang akan diisi beton
- (c) Cetakan harus dilapisi dengan benar
- (d) Bagian dinding bata pengisi yang akan bersentuhan dengan beton harus dibasahi dengan cukup
- (e) Tulangan harus benar-benar bersih dari es atau lapisan yang merugikan
- (f) Air harus dikeringkan dari tempat pengecoran sebelum beton dicor kecuali bila pipa *tremie* digunakan
- (g) Semua lapisan kerak (*laitance*) dan material lunak lainnya harus dibersihkan dari permukaan beton sebelum beton tambahan dicor terhadap beton yang telah mengeras.

16.4.3 Pencampuran

16.4.3.1 Umum — Semua bahan beton harus dicampur sampai menghasilkan distribusi bahan yang seragam dan harus dituangkan seluruhnya sebelum alat pencampur diisi kembali.

16.4.3.2 Beton siap pakai (*ready mixed*) — Beton siap pakai (*ready mixed*) harus dicampur dan diantarkan sesuai dengan ASTM C94/94M.

16.4.3.3 Beton yang dicampur di lapangan (*job-mixed*) — Ketika beton dicampur di lapangan, beton harus dicampur sebagai berikut:

- (a) Pencampuran harus dilakukan dalam alat pencampur.
- (b) Alat pencampur harus diputar dengan kecepatan yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya.
- (c) Waktu pencampuran minimum adalah 1 menit untuk alat pencampur dengan kapasitas tidak lebih dari 1 yd³ (0,75 m³), dengan tambahan waktu 30 detik untuk setiap kelipatan 1 yd³ (0,75 m³). Pencampuran dapat terus dilakukan untuk waktu yang lama tanpa efek samping.
- (d) Pencampuran harus dilakukan secara terus-menerus selama sekurang-kurangnya 1½ menit setelah semua bahan berada dalam wadah pencampur.
- (e) Catatan rinci harus disimpan untuk mengidentifikasi:
 - i. Nomor adukan yang dihasilkan
 - ii. Proporsi bahan yang digunakan
 - iii. Perkiraan lokasi pengecoran akhir pada struktur
 - iv. Waktu dan tanggal pencampuran dan pengecoran

16.4.4 Pемindahan (*Conveying*) — Beton harus dipindahkan dari alat pencampur ke tempat pengecoran akhir dengan metoda yang mencegah terjadinya pemisahan (*segregasi*) atau tercernya bahan. Peralatan pemindah harus mampu memindahkan beton ke tempat pengecoran tanpa pemisahan bahan dan tanpa sela yang dapat mengakibatkan hilangnya plastisitas campuran di antara dua pemindahan yang berurutan.

16.4.5 Pengecoran

16.4.5.1 Tempat pengecoran — Beton harus dicor sedekat mungkin pada posisi akhirnya untuk menghindari terjadinya segregasi akibat penanganan kembali atau segregasi akibat pengaliran.

16.4.5.2 Kecepatan pengecoran — Pengecoran beton harus dilakukan dengan kecepatan sedemikian hingga beton selama pengecoran tersebut tetap dalam keadaan plastis dan dengan mudah mengalir mengisi ruang-ruang di antara tulangan.

16.4.5.3 Beton yang telah mengeras sebagian — Beton yang telah mengeras sebagian atau telah terkontaminasi oleh bahan lain tidak boleh dicor pada struktur.

16.4.5.4 Beton yang ditambah air dan diaduk kembali — Beton yang telah ditambah air dan diaduk kembali tidak diizinkan untuk digunakan dan beton yang telah dicampur ulang setelah mengalami pengikatan awal tidak boleh digunakan.

16.4.5.5 Batas pengecoran — Saat pengecoran dimulai, maka pengecoran tersebut harus dilakukan secara menerus hingga mengisi secara penuh panel atau penampang sampai batasnya atau sambungan yang ditetapkan, kecuali yang diizinkan atau dilarang oleh 16.4.6.

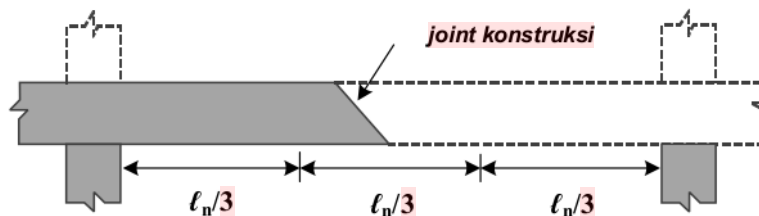
16.4.5.6 Permukaan atas — Permukaan atas cetakan vertikal harus datar.

16.4.5.7 Pemasangan — Beton harus dipadatkan secara menyeluruh dengan menggunakan peralatan yang sesuai selama pengecoran dan harus diupayakan mengisi sekeliling tulangan dan fixtur yang tertanam, serta ke semua sudut cetakan.

16.4.6 Joint konstruksi (construction joints)

16.4.6.1 Umum — Permukaan beton pada joint konstruksi harus dibersihkan dan lapisan kapur (*laitance*) dihilangkan. Sesaat sebelum beton baru dicor, semua joint konstruksi harus dibasahi dan air yang tergenang harus dihilangkan. Joint konstruksi harus dibuat dan ditempatkan sedemikian hingga tidak mengurangi kekuatan struktur. Transfer gaya geser dan gaya-gaya lainnya melalui joint konstruksi harus disediakan.

16.4.6.2 Pada slab — Joint konstruksi harus ditempatkan dalam daerah sepertiga bentang tengah slab, balok, dan girder (Gambar 16.4.6.2). Joint konstruksi pada girder harus digeser minimum sejauh dua kali lebar balok yang memotongnya.



Gambar 16.4.6.2 – Joint konstruksi pada slab, girder, dan balok

16.4.6.3 Pada girder, balok, dan slab yang ditumpu oleh kolom atau dinding — Beton tidak boleh dicor atau dipasang hingga beton pada komponen struktur vertikal yang menumpunya mengeras (tidak bersifat plastis lagi).

16.4.6.4 Pada girder, balok, haunch (haunches), panel drop (drop panels), dan kapital kolom — Beton pada girder, balok, haunches, panel drop (drop panels), dan kapital kolom harus dicor monolit dengan sistem slab.

16.5 – Evaluasi kekuatan beton

16.5.1 Umum — Beton harus diuji sesuai dengan 16.5. Properti beton dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga kontrol kualitas yang sistematis harus diatur di lokasi konstruksi. Kekuatan tekan adalah tolok ukur utama dari kualitas beton struktural. Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan benda uji silinder yang memiliki tinggi dua kali dari diameternya, 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm). Cetakan kedap air berbentuk silinder ini diisi dengan beton selama proses pengecoran seperti yang ditentukan dalam ASTM C172/C172M. Benda uji silinder dirawat dalam keadaan lembab pada suhu $73^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) selama 28 hari sesuai dengan ASTM C31/C31M dan kemudian diuji di laboratorium dengan laju pembebanan tertentu seperti yang disyaratkan oleh ASTM C39/C39M. Kekuatan tekan yang dihasilkan dari pengujian tersebut, yakni hasil uji rata-rata dua silinder yang dibuat pada hari yang sama dan menggunakan beton yang sama, adalah kekuatan tekan silinder f_c' . Beton ini harus memenuhi nilai kekuatan tekan terspesifikasi.

16.5.2 Frekuensi pengujian

16.5.2.1 Jumlah benda uji — Benda uji untuk uji tekan dari setiap mutu beton yang dicor setiap hari sekurang-kurangnya dua silinder ukuran 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau tiga silinder ukuran 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) tidak kurang dari sekali sehari, atau tidak kurang dari sekali untuk setiap 50 yd³ (40 m³) beton, atau tidak kurang dari sekali untuk setiap 2.000 ft² (200 m²) luasan permukaan lantai atau dinding. Benda uji sejumlah dua silinder ukuran 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau tiga silinder ukuran 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) harus sekurang-kurangnya diambil dari beton pada kolom di setiap lantai. Benda uji sejumlah dua silinder ukuran 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau tiga silinder ukuran 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) harus sekurang-kurangnya diambil setiap 25 kali adukan beton (*concrete batches*).

16.5.2.2 Pekerjaan lapangan yang kecil — Pada proyek tertentu, jika volume total beton adalah sedemikian hingga frekuensi pengujian yang disyaratkan oleh 16.5.2.1 hanya akan menghasilkan jumlah uji kekuatan tekan beton kurang dari lima (rata-rata dari dua silinder) untuk satu mutu beton, maka benda uji harus diambil dari paling sedikit lima adukan yang dipilih secara acak atau dari masing-masing adukan bilamana jumlah adukan yang digunakan adalah kurang dari lima.

16.5.2.3 Definisi uji kekuatan tekan — Suatu uji kekuatan tekan harus merupakan nilai kekuatan tekan rata-rata dari dua silinder 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau tiga silinder 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) yang dibuat dari adukan beton yang sama dan diuji pada umur beton 28 hari.

16.5.3 Penerimaan beton

16.5.3.1 Pembuatan benda uji — Benda uji silinder 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) harus dicor pada cetakan silinder kedap air dan diisi dengan beton selama proses pengecoran seperti yang ditentukan oleh ASTM C172/C172M.

16.5.3.2 Perawatan dan pengujian benda uji — Benda uji silinder harus dirawat dalam keadaan lembab pada suhu $73^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) selama 28 hari dan kemudian diuji di laboratorium dengan laju pembebanan tertentu seperti yang disyaratkan oleh ASTM C39/C39M.

16.5.3.3 Penerimaan beton — Kekuatan suatu mutu beton individu harus dianggap memenuhi syarat bila dua hal berikut dipenuhi:

(a) Nilai rata-rata dari setiap tiga pasang uji kekuatan yang berurutan untuk ukuran 6 in. x 12 in. (150 mm x 300 mm) atau tiga silinder ukuran 4 in. x 8 in. (100 mm x 200 mm) harus sekurang-kurangnya sama dengan kekuatan rencana yang ditentukan f_c' .

(b) Tidak ada hasil uji kekuatan individu (rata-rata dari dua silinder ukuran 6 in. x 12 in. [150 mm x 300 mm] atau tiga silinder ukuran 4 in. x 8 in. [100 mm x 200 mm]) berada di bawah f_c' dengan lebih dari 500 psi (3,5 MPa).

16.5.4 Hasil kekuatan yang rendah — Jika terdapat beton dengan nilai kekuatan tekan rendah dan hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas elemen struktur dalam memikul beban akan berkurang secara signifikan, maka bagian yang terpengaruh harus dibongkar atau diperbaiki. Prosedur statistik untuk mengevaluasi hasil uji tekan beton diberikan dalam ACI 214R. Jika beton inti (*cores*) diambil untuk memverifikasi kekuatan beton, ACI 214.4R telah merangkum prosedur untuk pengambilan beton inti dan menginterpretasikan hasil uji kekuatan tekan beton inti.

16.6 – Perawatan beton

16.6.1 Umum — Beton harus dirawat dengan menjaga suhunya di atas suhu yang ditentukan dan dalam kondisi lembab untuk waktu yang ditentukan pada Tabel 16.6.1. Beton segar secara cepat mengeras dan memperoleh kekuatan pada beberapa hari dan minggu pertama setelah pengecoran. Desain struktural biasanya didasarkan pada kekuatan beton 28 hari, yang mana sekitar 70 persen kekuatannya tercapai pada akhir minggu pertama setelah pengecoran. Kekuatan akhir beton sangat tergantung pada kondisi kelembaban dan suhu selama durasi awal ini. Pemeliharaan kondisi beton yang sesuai pada masa ini dikenal sebagai perawatan (*curing*). Tiga puluh persen atau lebih potensi kekuatan beton dapat hilang akibat pengeringan beton sebelum waktunya; jumlah yang sama dapat hilang ketika suhu beton turun ke 39°F (4°C) atau lebih rendah selama beberapa hari pertama, kecuali jika beton dijaga secara terus menerus kelembabannya untuk durasi waktu yang lama setelahnya. Beton segar yang membeku dapat mengurangi kekuatan sebanyak 50 persen. Untuk mencegah kerusakan seperti itu, maka kelembaban beton harus dijaga selama minimal 7 hari sampai 14 hari. Perawatan beton dapat dilakukan dengan menjaga permukaan yang terbuka agar selalu basah melalui percikan air, penggenangan air, atau menutup dengan menggunakan karung goni yang basah. Air yang digunakan untuk proses perawatan beton harus memiliki perbedaan suhu tidak lebih dari 20°F (12°C) dengan permukaan beton yang dirawat untuk mencegah tegangan akibat suhu dan keretakan. Metode perawatan beton lainnya dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa perawatan beton yang menghalangi penguapan dan kertas tahan air. Selain meningkatkan kekuatan, perawatan kelembaban beton yang tepat dapat memberikan kontrol penyusutan yang lebih baik. Untuk melindungi beton dari pengaruh suhu rendah selama cuaca dingin, air pencampur dan agregat kadang-kadang perlu dipanaskan; insulasi suhu dapat digunakan bila memungkinkan; dan material campuran tambahan khusus seperti kalsium klorida dapat digunakan. Ketika suhu udara sangat rendah, panas eksternal mungkin harus disuplai ke beton selain hanya menggunakan insulasi suhu.

16.6.2 Waktu perawatan — Beton harus dirawat pada suhu di atas 50°F (10°C) dan dalam kondisi lembab tidak kurang dari waktu yang diberikan pada Tabel 16.6.1.

1
Tabel 16.6.1 – Waktu perawatan

Komponen	Durasi minimum kondisi beton tetap basah setelah pengikatan (hari)	
	Cuaca dingin	Cuaca hangat
Slab dan balok yang berdiri sendiri	7	10
Dinding dengan tebal 8 in. (200 mm) atau kurang	7	7
Dinding tebal, kolom, dan pilar beton	7	7
Slab dan <i>pavement</i> di atas tanah	4	7

16.6.3 Cuaca dingin — Pada pengecoran dalam keadaan cuaca dingin, peralatan yang memadai harus disediakan untuk memanaskan bahan beton dan melindungi beton selama cuaca beku atau hampir beku. Semua bahan dan tulangan beton, cetakan, pengisi, dan tanah yang bersentuhan dengan beton harus terbebas dari bunga es. Material yang sudah membeku atau material yang mengandung es tidak boleh digunakan.

16.6.4 Cuaca panas — Pada pengecoran dalam keadaan cuaca panas, perhatian harus diberikan pada bahan dasar, cara produksi, penanganan, pengecoran, perlindungan, dan perawatan untuk mencegah terjadinya temperatur beton atau penguapan air yang berlebihan yang dapat mengurangi kekuatan desain atau kemampuan layan komponen struktur atau struktur.

16.7 – Pembongkaran cetakan

Cetakan harus dibongkar dengan cara sedemikian rupa agar tidak mengurangi keamanan dan kemampuan layan struktur. Saat melepaskan penumpu cetakan, proses pelepasan harus memungkinkan agar beton dapat menahan beban secara bertahap dan seragam. Beton yang akan terpapar dengan adanya pembongkaran cetakan harus memiliki kekuatan yang cukup untuk mencegah kerusakan selama pelaksanaan pembongkaran. Beton dalam lingkup Panduan ini biasanya mampu mencapai 70 persen f_c' setelah 7 hari. Oleh karena itu, untuk mutu beton 4.000 psi (28 MPa) harus setidaknya mampu mencapai 2.800 psi (17 MPa) dalam waktu 7 hari. Berdasarkan estimasi ini, waktu minimum untuk pembongkaran cetakan harus sesuai dengan Tabel 16.7a. Pembongkaran cetakan lebih awal diizinkan apabila hasil kekuatan beton yang diuji, menggunakan silinder yang dirawat di lokasi konstruksi, telah mencapai kekuatan yang diberikan pada Tabel 16.7b.

Tabel 16.7a – Waktu minimum untuk pembongkaran cetakan

Komponen	Cetakan dipertahankan di tempat setelah beton mulai mengikat (hari)	
	Cuaca dingin	Cuaca hangat
Slab dan balok yang berdiri sendiri	14	10
Dinding dengan tebal 8 in. (200 mm) atau kurang	4	3
Dinding tebal, kolom, dan pilar beton	3	2
Slab dan <i>pavement</i> di atas tanah	-	-

Tabel 16.7b – Kekuatan beton agar cetakan aman untuk dibongkar

Klasifikasi struktural	Kuat tekan minimum, psi (MPa)
Beton yang tidak menahan lentur atau tegangan langsung, atau tidak bergantung pada cetakan sebagai penumpu vertikal, atau tidak memiliki kecenderungan rusak akibat pelaksanaan pembongkaran cetakan atau pelaksanaan konstruksi lainnya, seperti permukaan yang vertikal atau hampir vertikal pada bagian yang tebal, atau bagian atas dari kemiringan permukaan	500 (3,5)
Beton yang menahan lentur, tegangan langsung, atau keduanya, dan sebagian bergantung pada cetakan sebagai penumpu vertikal: a) Beton yang hanya menahan beban vertikal, seperti permukaan yang vertikal atau hampir vertikal pada bagian yang tipis, atau bagian bawah kemiringan permukaan yang lebih miring dari 1:1 b) Beton yang hanya menahan beban mati dan hidup, seperti kolom	700 (5) 1.500 (10)
Beton yang menahan tegangan lentur yang besar dan seluruhnya atau hampir seluruhnya bergantung pada cetakan sebagai penumpu vertikal, seperti atap atau slab lantai dan balok, atau bagian bawah kemiringan permukaan lebih rata daripada 1:1	2.000 (14)

16.8 – Inspeksi

Pengamatan dan inspeksi yang sistematis dapat memastikan kesesuaian yang baik antara rencana dan spesifikasi dengan struktur yang sudah selesai. Seorang arsitek/insinyur yang kompeten, lebih baik insinyur perencana atau yang bertanggung jawab terhadap yang merencanakan, harus memeriksa kesesuaian sistem struktural dengan dokumen konstruksi yang disetujui pada tahapan-tahapan konstruksi, penyelesaian sistem struktural, dan penyelesaian konstruksi.

Inspeksi tambahan harus disediakan oleh pengawas independen yang bersertifikat. Fungsi utama pengawas untuk kontrol kualitas bahan adalah:

- (a) Pengambilan sampel
- (b) Pemeriksaan
- (c) Pengujian material di lapangan
- (d) Kontrol terhadap proporsi beton
- (e) Inspeksi terhadap pengadukan, pencampuran, pengantaran (*conveying*), pengecoran, pemadatan, dan perawatan beton
- (f) Pengawasan terhadap persiapan benda uji untuk pengujian di laboratorium

Selain itu, tugas pengawas meliputi inspeksi fondasi, cetakan, penempatan baja tulangan, hal-hal lainnya yang berkaitan dengan kemajuan (*progress*) pekerjaan secara umum, menyimpan catatan inspeksi, dan menyiapkan laporan secara berkala. Inspeksi menyeluruh terhadap kebenaran di lapangan dan kualitas struktur yang sudah selesai sangatlah penting.

BAB 17 – REFERENSI

Dokumen disusun mulai dari nomor dokumen dan tahun publikasi diikuti oleh nama dokumen yang dituliskanurut sesuai abjad.

American Concrete Institute

- ACI 214R-11—Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete
- ACI 214.4R-10—Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results
- ACI 301-10—Specifications for Structural Concrete
- ACI 318-63—Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete
- ACI 318M-14—Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- ACI 350-06—Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures
- ACI IPS-1(2002)—Essential Requirements for Reinforced Concrete Buildings
- ACI SP-66(04)—ACI Detailing Manual

American Society of Civil Engineers

- ASCE 7-10—Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

ASTM International

- ASTM A615/A615M-15—Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement
- ASTM A706/A706M-15—Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement
- ASTM A1064/A1064M-15—Standard Specification for Carbon-Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete
- ASTM C29/C29M-09—Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate
- ASTM C31/C31M-12—Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- ASTM C33/C33M-13—Standard Specification for Concrete Aggregates
- ASTM C39/C39M-15—Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C94/C94M-15—Standard Specification for Ready-Mixed Concrete
- ASTM C143/C143M-15—Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete
- ASTM C150/C150M-15—Standard Specification for Portland Cement
- ASTM C172/C172M-14—Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete
- ASTM C192/C192M-15—Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C260/C260M-10—Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete
- ASTM C330/C330M-14—Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- ASTM C494/C494M-15—Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- ASTM C567/C567M-14—Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete
- ASTM C595/C595M-15—Standard Specification for Blended Hydraulic Cements

12

ASTM C845/C845M-12—Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement

ASTM C1017/C1017M-13—Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete

19

ASTM C1602/C1602M-12—Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete

International Code Council

2015 International Building Code (IBC)

LAMPIRAN A – PERBANDINGAN SNI 8900 DENGAN SNI 2847, INTERNATIONAL BUILDING CODE (2015), SNI 1726, DAN SNI 1727

Tabel A.1 berfungsi sebagai panduan untuk menemukan topik yang sesuai dalam SNI 2847, *International Building Code (International Code Council 2015)*, SNI 1726, dan SNI 1727. Beberapa rekomendasi di dalam panduan ini lebih konservatif; maka perbedaan antara bagian rekomendasi tersebut dengan yang disajikan di dalam SNI 2847, *International Building Code (International Code Council 2015)*, SNI 1726, dan SNI 1727 harus diperkirakan. Beberapa rekomendasi tidak langsung berkaitan. Lampiran A ditampilkan hanya untuk informasi.

Tabel A.1 – Bab SNI 8900 yang memiliki kesesuaian dengan bab di dalam peraturan dan standar lain

SNI 8900-	SNI 2847	International Building Code (2015)	SNI 1726	SNI 1727
BAB 1 – Umum				
1.3.1		Bab 3 dan 4	4.1.2	1.5
1.5.2	1.8.2	1603, 1803	1.2.3	1.3.1.3.3
1.5.3	4.12.1			
1.6	4.4.4	1604	3.50	1.4
1.7	4.6	1605	4.2	2.3
1.7.3	21.2			1.3.1.1
1.8	Bab 24		3.6	1.3.2
Bab 2 – Simbol dan notasi				
2.1	2.2	1602	3.58	1.2.2
2.2	2.3	1602		1.2.1
Bab 3 – Tata Letak sistem struktur				
Bab 3	Bab 4			
Bab 4 – Pembebanan				
4.2	5.3	1605.2	4.2.2.1, 4.2.2.2	2.3
4.4		1606.1, 1606.2		3.1
4.5		1606		3.1
4.6		1607		Bab 4
4.7		1607.12		4.1, 4.8
4.8		1611		8.3
4.9		1608		
4.10		1609		Bab 26
4.11		1613	Bab 1, Bab 2, Bab 3, Bab 4, Bab 5, Bab 6, Bab 7, Bab 8	
4.12		1610		3.2.1
4.13			7.5, 7.6, 7.7, 7.8	3.2.1, 5.4, Bab 26
4.14	4.4		7.2, 8.4	
4.15	18.10			
Bab 5 – Informasi umum struktur beton bertulang				
5.2.2	26.4.1.1			
5.2.3	26.4.1.2			
5.2.4	26.4.1.3			
5.2.5	20.2			
5.2.5.1	20.2.1.3			
5.2.5.2	20.2.1.7			
5.2.5.3	20.2.1.4			

SNI 8900-	SNI 2847	International Building Code (2015)	SNI 1726	SNI 1727
5.2.6	26.4.1.4			
5.2.7	26.5.1.1(a) dan (b)			
5.4.1	20.6.1			
5.4.2	4.11.2	721		
5.4.3	20.6.1.4			
5.5	25.3.1			
5.6	25.3.2			
5.7	25.2			
5.8.1	25.4.2			
5.8.2	25.5.2			
5.8.3	25.4.3			
5.11	22.3			
5.12	22.4			
5.13.1	22.5 dan 22.6			
5.13.4	22.5			
5.13.5	22.6			
5.13.6	22.7			
5.14	22.8			
Bab 6 – Sistem pelat lantai				
6.1.2	6.3			
6.1.3	8.8 dan 9.8			
6.1.4	Bab 8			
6.3	4.10			1.4
6.5.2.1	8.8.2 dan 9.8.2			
6.5.2.2	7.3 dan 9.3			
6.5.2.3	24.2			
6.5.3.1	7.3 dan 9.3			
6.5.3.2	24.2			
6.5.4	8.3			
6.5.5	8.3			
6.7	8.3.1.3 dan 9.3.1.2			
6.8.1	8.5.4			
6.8.2	20.7			
Bab 7 – Solid slab yang menumpu pada girder, balok, joist, atau dinding beton bertulang				
7.3.2	25.2.1			
7.3.3	24.4			
7.3.4.1	25.2			
7.3.4.2	7.6.1.1, 7.7.2.3			
7.3.4.3	7.3.3.1, 8.3.3.1			
7.3.5	7.7.9.7			
7.3.6	7.7.9.7			
7.3.8	8.7.3.1			
7.3.9	7.7.3.7			
7.4.2	22.5.5.1			
7.8.2	6.5			
7.8.4	6.5			

SNI 8900-	SNI 2847	International Building Code (2015)	SNI 1726	SNI 1727
7.9	1			
Bab 8 – Girder, balok, dan joist				
8.1.2	6.2.2, 18.2.2, 6.3			
8.4.2.1	25.2.1			
8.4.2.2	25.2.2			
8.4.4	24.3			
8.4.5	9.6			
8.4.9.5	9.1.7.6			
8.4.10	6.3.2			
8.4.11.1	24.3.4			
8.4.11.2	9.2.4.3			
8.4.12	9.7.2.3			
8.4.14	9.7.3			
8.4.15	9.7.3			
8.5.2	25.7			
8.5.4.2	22.5.1.1			
8.5.4.3	6.5.4			
8.5.4.4	22.5			
8.5.4.5	22.5			
8.6.3.3	6.5.2			
8.6.4.3	6.5.4			
8.7.2.4	9.2.3.1			
8.7.2.5	6.5.1			
8.7.3.2	6.5			
8.7.4.1	6.5.4			
Bab 9 – Sistem pelat-kolom				
9.3.2	8.4.1.5			
9.3.3	8.4.1.6			
9.3.4	8.4.1.7			
9.3.8	8.10.2			
9.3.9	8.5.4.1			
9.3.10	8.5.2.2			
9.4	8.6.8.7			
9.5, 9.6, 9.7	8.5.3			
9.8	8.10			
Bab 10 – Kolom				
10.3.3	6.2			
10.3.4	10.3.1			
10.4.2.2	10.6.1.1			
10.4.2.4	10.7.3.1			
10.4.2.6	25.2.3			
10.4.2.7	25.5.1.2			
10.4.2.8	10.7.5			
10.4.2.10	10.7.4.1			
10.4.3.2	25.7.2			
10.4.3.3	25.7.3			
10.4.3.4	15.4			
10.6.2.2	10.5.5, 22.5.1.1			
10.6.2.3	22.5.10.5			
10.6.2.4	22.5.10.5			

1 SNI 8900-	SNI 2847	International Building Code (2015)	SNI 1726	SNI 1727
Bab 11 – Sistem penahan beban gempa				
11.1.2.1	18.6.2.1			
11.1.2.2	18.6.3			
11.1.2.3	18.6.4			
11.1.2.4	18.6.5			
11.1.3.1	18.7.2			
11.1.3.2	18.7.4			
11.1.3.3	18.7.3			
11.1.3.4	18.7.5			
11.1.3.5	18.7.5			
11.1.3.6	18.7.6			
11.1.4.2	18.8.2.3			
11.1.4.3	18.8.3			
11.1.4.4	18.8.4			
11.1.4.5	18.8.2.2			
11.1.5.2	18.10.6			
11.1.6	18.4.5			
11.2	18.2.2.1			
Bab 12 – Dinding benton bertulang				
12.3.2.1	11.3.1.3			
12.3.2.2	10.3.1			
12.4.2	11.7.3			
12.4.3	11.7.2.3			
12.4.4.2	11.6, 18.10.2.1			
12.4.4.3	11.7.4.1			
12.4.4.4	18.10.6.5			
12.4.5	11.6, 18.10.2.1			
12.6.2.1	11.5.5			
12.6.2.2	11.5.4			
12.6.2.3	11.5.4.8, 18.10.4			
Bab 13 – Komponen struktural lainnya				
13.1.		Bab 10 dan 11		
Bab 14 – Fondasi				
14.1		1803		
14.2		1803, 1806		
14.5.2	13.2.6			
14.5.3		1809		
14.5.3.5	13.3			
14.5.3.6	13.3.1.3			
14.5.3.7	13.2.7.3			
14.5.4.4	13.3.3.3			
14.5.4.7	13.2.8			
14.5.4.11	16.3			
14.5.5	22.5, 22.6			
14.5.6	13.2.6			
14.7	13.4			
14.10	13.3.4			
14.11	11.1.4			

SNI 8900:2020

¹ SNI 8900-	SNI 2847	International Building Code (2015)	SNI 1726	SNI 1727
14.11.10.5	¹ 14.1.4, R18.13.2.5			
14.12	18.13.3			
14.13	18.13.3			
Bab 15 – Gambar dan spesifikasi				
15.2	1.8.1	1603		
15.3	1.8.1	1603		
Bab 16 – Konstruksi				
16.1.2	26.4.1.1			
16.1.3	26.4.1.2			
16.1.4	26.4.1.4			
16.1.5	20.2.1			
16.1.6	26.11			
16.2.2.2	26.4.1.1.1.1			
16.2.2.3	19.3.3.1			
16.2.2.4	19.3.1.1			
16.2.2.5	26.4.2.2			
16.2.2.6	26.4.3.1			
16.2.3	26.4.4.1			
16.2.4	26.4.3.1			
16.3.1	26.6.3.1			
16.3.2	26.6.1.2			
16.3.3	26.6.2			
16.3.4.1	26.6.2.1			
16.4.	26.5			
16.5	26.12			
16.6	26.5.3			
16.7	26.11.2			
16.8	26.13			

1 Lampiran B - Penunjang Desain

Lampiran ini memuat informasi sebagai berikut:

- Penunjang Desain 1-1 Luas Tulangan
- Penunjang Desain 1-2 Momen Lentur dan Gaya Geser Pendekatan Untuk Balok Menerus Dan Slab satu Arah
- Penunjang Desain 1-3 Variasi ϕ terhadap Regangan Tarik Netto dalam Baja Tarik Terluar ϵ_t dan c/d_t untuk Baja Mutu 420 MPa
- Penunjang Desain 1-4 Perhitungan As cara Sederhana dengan Assumsi Penampang Terkontrol Tarik dan Tulangan Mutu 420 MPa
- Penunjang Desain 1-5 Jumlah Tulangan Minimum Perlu untuk Satu Lapis
- Penunjang Desain 1-6 Jumlah Tulangan Maksimum Diperkenankan Dalam Satu Baris
- Penunjang Desain 1-7 Ketebalan Minimum h untuk balok Dan Slab Satu Arah Kecuali Lendutan Diperhitungkan
- Penunjang Desain 1-8 Rasio Tulangan ρ_t untuk Penampang Terkontrol Tarik dengan Mutu Baja 420 MPa
- Penunjang Desain 1-9 Perhitungan b_w Cara Sederhana dengan Assumsi Tulangan Mutu 420MPa dan $\rho = 0.5 \rho_{max}$
- Penunjang Desain 1-10 Geometri Balok-T
- Penunjang Desain 1-11 Nilai dari $\phi V_s = V_u - \phi V_c$ (kN) Fungsi dari Spasi, s
- Penunjang Desain 1-12 Tulangan Geser Minimum $A_{v,min} / s$
- Penunjang Desain 1-13 Properti PenampangTorsi
- Penunjang Desain 1-14 Moment Inersia Penampang Retak Ditransformasi ke Beton, I_{cr}
- Penunjang Desain 1-15 Persamaan Pendekatan untuk Menghitung Lendutan Seketika, Δi , untuk Komponen dengan Pembebanan Terdistribusi Merata

Slab Dua Arah – Metode Desain Langsung

- Penunjang Desain 2-1 Kondisi Analisa dengan Metode Desain Langsung
- Penunjang Desain 2-2 Definisi Jalur Kolom dan Jalur Tengah
- Penunjang Desain 2-3 Definisi Bentang Bersih, l_n
- Penunjang Desain 2-4 Koefisien Momen Desain pada Metode Desain Langsung
- Penunjang Desain 2-5 Penampang Efektif Balok dan Slab untuk Menghitung Rasio Kekakuan α_f
- Penunjang Desain 2-6 Perhitungan Factor Kekakuan Torsi, β_t , Untuk Penampang T- dan L-
- Penunjang Desain 2-7 Konstanta Distribusi Momen untuk komponen Balok-Slab tanpa Panel Drop
- Penunjang Desain 2-8 Kekakuan dan Factor Induksi untuk Kolom

Diagram Momen-Aksial Kolom

- Penunjang Desain 3-1 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 21$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-2 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 21$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-3 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 25$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-4 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 25$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,8$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-5 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 30$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-6 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 30$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-7 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 35$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$
- Penunjang Desain 3-8 M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 35$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$

PENUNJANG DESAIN 1-1

Luas Tulangan

Luas Tulangan per meter lebar pelat (mm²/m)

Diameter (mm)	Spasi (mm)													
	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400
6	377	283	226	188	162	141	126	113	103	94	87	81	75	71
8	670	503	402	335	287	251	223	201	183	168	155	144	134	126
10	1.047	785	628	524	449	393	349	314	286	262	242	224	209	196
13	1.770	1.327	1.062	885	758	664	590	531	483	442	408	379	354	332
16	2.681	2.011	1.608	1.340	1.149	1.005	894	804	731	670	619	574	536	503
19	3.780	2.835	2.266	1.890	1.620	1.418	1.260	1.134	1.031	945	872	810	756	709
22	5.068	3.801	3.041	2.534	2.172	1.901	1.689	1.521	1.382	1.267	1.170	1.088	1.014	950
25	6.545	4.909	3.927	3.272	2.805	2.454	2.182	1.963	1.785	1.636	1.510	1.402	1.309	1.227
29	8.807	6.605	5.284	4.403	3.774	3.303	2.936	2.642	2.402	2.202	2.032	1.887	1.761	1.651
32	10.723	8.042	6.434	5.362	4.596	4.021	3.574	3.217	2.925	2.681	2.475	2.298	2.145	2.011
36	13.572	10.179	8.143	6.786	5.816	5.089	4.524	4.072	3.701	3.393	3.132	2.908	2.714	2.545
40	16.755	12.566	10.053	8.378	7.181	6.283	5.585	5.027	4.570	4.189	3.867	3.590	3.351	3.142
50	26.180	19.635	15.708	13.090	11.220	9.817	8.727	7.854	7.140	6.545	6.042	5.610	5.236	4.909
54	30.536	22.902	18.322	15.268	13.087	11.451	10.179	9.161	8.328	7.634	7.047	6.543	6.107	5.726
57	34.023	25.518	20.414	17.012	14.581	12.759	11.341	10.207	9.279	8.506	7.852	7.291	6.805	6.379
29	8.807	6.605	5.284	4.403	3.774	3.303	2.936	2.642	2.402	2.202	2.032	1.887	1.761	1.651

Tabel Luas Tulangan (mm²)

Diameter (mm)	Jumlah Batang						
	1	2	3	4	5	6	7
6	28	57	85	113	141	170	198
8	50	101	151	201	251	302	352
10	79	157	236	314	393	471	550
13	133	265	398	531	664	796	929
16	201	402	603	804	1.005	1.206	1.407
19	284	567	851	1.134	1.418	1.701	1.985
22	380	760	1.140	1.521	1.901	2.281	2.661
25	491	982	1.473	1.963	2.454	2.945	3.436

Diameter	Jumlah Batang						
	8	9	10	11	12	13	14
6	226	254	283	311	339	368	396
8	402	452	503	553	603	653	704
10	628	707	785	864	942	1.021	1.100
13	1.062	1.195	1.327	1.460	1.593	1.726	1.858
16	1.608	1.810	2.011	2.212	2.413	2.614	2.815
19	2.268	2.552	2.835	3.119	3.402	3.686	3.969
22	3.041	3.421	3.801	4.181	4.562	4.942	5.322
25	3.927	4.418	4.909	5.400	5.890	6.381	6.872

PENUNJANG DESAIN 1-2

Momen Lentur dan Gaya Geser Pendekatan Untuk Balok Menerus dan Slab satu Arah

ACI 318M-14 ps. 6.5

	$l_{n,2} < l_{n,1} \leq 1,2l_{n,2}$		$l_{n,2}$		$l_{n,2}$		
	$\frac{w_u l_{n,1}^2}{14}$		$\frac{w_u l_{n,2}^2}{16}$		$\frac{w_u l_{n,2}^2}{11}$		Momen Positif
Tumpuan Balok	$\frac{w_u l_{n,1}^2}{24}$	$\frac{w_u l_{n,avg}^2}{10}$	$\frac{w_u l_{n,avg}^2}{11}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{11}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{10}$	0	Momen Negatif
Tumpuan Kolom	$\frac{w_u l_{n,1}^2}{16}$						
Catatan A	$\frac{w_u l_{n,1}^2}{12}$	$\frac{w_u l_{n,avg}^2}{12}$	$\frac{w_u l_{n,avg}^2}{12}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{12}$	$\frac{w_u l_{n,2}^{2**}}{12}$	0	
	$\frac{w_u l_{n,1}^2}{2}$	$\frac{1,15 w_u l_{n,1}^2}{2}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{2}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{2}$	$\frac{1,15 w_u l_{n,2}^2}{2}$	$\frac{w_u l_{n,2}^2}{2}$	Geser

Catatan A: Berlaku untuk pelat bentang < 3 meter dan balok bilamana jumlah perbandingan kekakuan kolom terhadap balok > 8 pada tiap ujung bentang

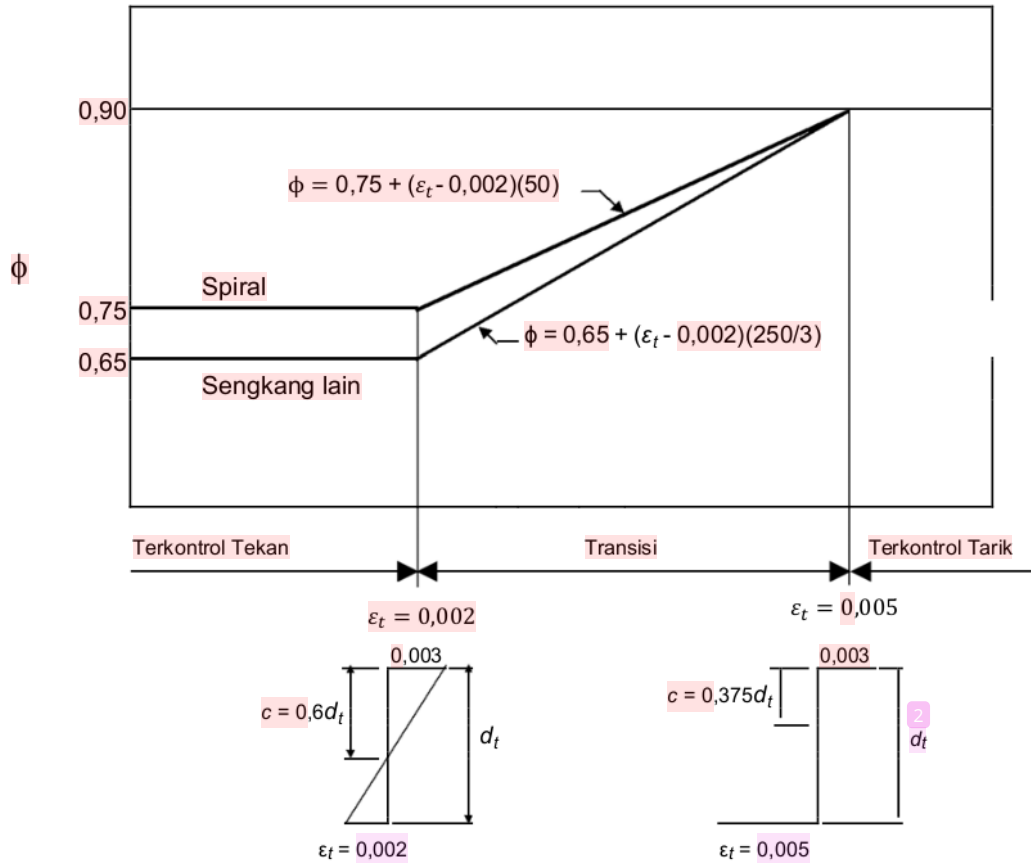
$\frac{*w_u l_n^2}{9}$ (2 Bentang)

$l_{n,avg} = \frac{l_{n,1} + l_{n,2}}{2}$ (ACI 318M-14 ps. 6.5.2)

$\frac{**w_u l_{n,2}^2}{10}$ (Untuk balok)

PENUNJANG DESAIN 1-3

Variasi ϕ terhadap Regangan Tarik Netto dalam Baja Tarik Terluar ϵ_t dan c/d_t
 untuk Baja Mutu 420 MPa
 ACI 318M-14 ps. 21.2.2



Spiral : $\phi = 0,75 + 0,15[(1/c/d_t) - (5/3)]$

Lainnya : $\phi = 0,65 + 0,25[(1/c/d_t) - (5/3)]$

PENUNJANG DESAIN 1-4

Perhitungan A_s Cara Sederhana dengan Assumsi Penampang Terkontrol Tarik dan Tulangan Mutu 420 MPa

f'_c (MPa)	A_s (mm ²)
21	$\frac{M_u}{32 d} \times 10^{-5}$
25	$\frac{M_u}{33 d} \times 10^{-5}$
30	$\frac{M_u}{34 d} \times 10^{-5}$
35	$\frac{M_u}{35 d} \times 10^{-5}$

1
 M_u dalam kN-m dan d dalam mm

Dalam semua kasus dapat digunakan,

$$A_s = \frac{M_u}{33d} \times 10^{-5}$$

Catatan:

- $A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(1 - \frac{0,5 \rho f_y}{0,85 f'_c}\right)}$
- Untuk nilai $\rho < 0,0125$, A_s pendekatan sedikit konservatif
- Direkomendasikan untuk menghindari $\rho > 0,0125$ bila menggunakan A_s pendekatan

PENUNJANG DESAIN 1-5¹

Jumlah Tulangan Minimum Perlu Untuk Satu Lapis

ACI 318M-14 ps. 24.3.2

Asumsi:

- Mutu tulangan $f_y = 420$ MPa
- Tebal penutup beton ke tulangan tarik $C_c = 50$ mm
- Tegangan terhitung f_s pada tulangan terdekat pada muka tarik saat service adalah 280 MPa.

Diameter Tulangan	Lebar Balok (mm)													
	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	900	1.000	1.200
10	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
13	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
16	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
19	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
22	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
25	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5

•

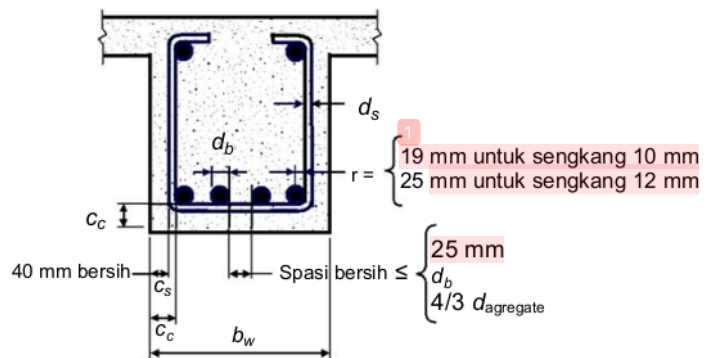
Jumlah Tulangan Minimum, n_{min} :

$$n_{min} = \frac{b_w - 2(c_c + 0,5d_b)}{s} + 1$$

dengan:

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$\leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$



¹ Alsamsam, I.M. and Kamara, M. E. (2004). *Simplified Design Reinforced Concrete Buildings of Moderate Size and Heights*, EB104, Portland Cement Association, Skokie, IL

PENUNJANG DESAIN 1-6¹

Jumlah Tulangan Maksimum yang Diperkenankan Dalam Satu Baris

ACI 318M-14 ps. 25.2

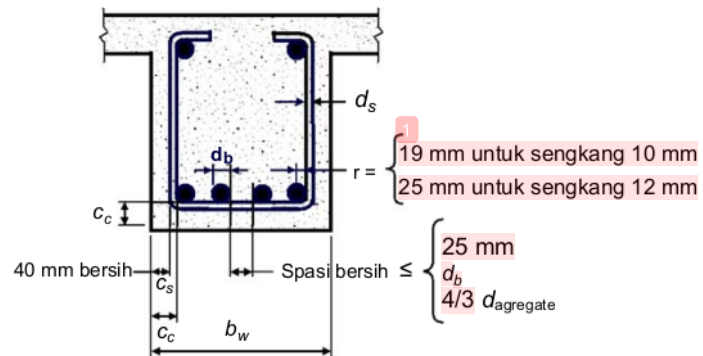
Asumsi:

- Mutu tulangan $f_y = 420$ MPa
- Tebal penutup beton bersih ke sengkang $c_s = 40$ mm
- Ukuran aggregate 20 mm
- Sengkang 10 mm untuk tulangan longitudinal 16 mm dan 19 mm, dan sengkang 13 mm untuk diameter tulangan 22 atau lebih besar

Diameter Tulangan	Lebar Balok (mm)													
	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	900	1.000	1.200
10	3	4	6	7	9	10	11	13	14	15	17	21	24	29
13	3	4	5	7	8	9	10	12	13	14	15	19	22	27
16	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	18	20	25
19	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	17	19	23
22	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	16	18	22
25	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	17	21

Jumlah Tulangan Maksimum, n_{max} :

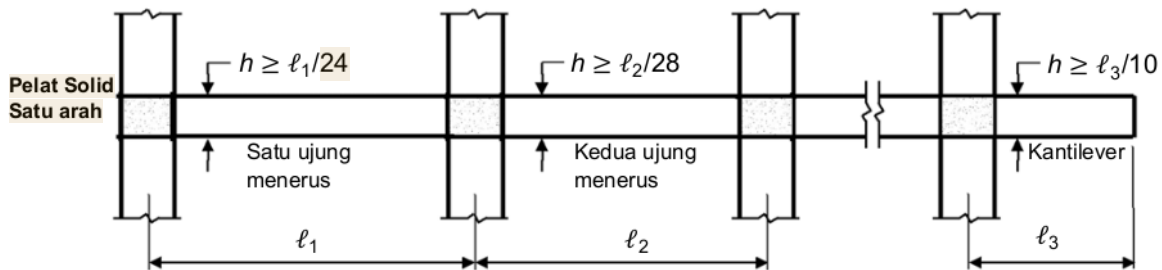
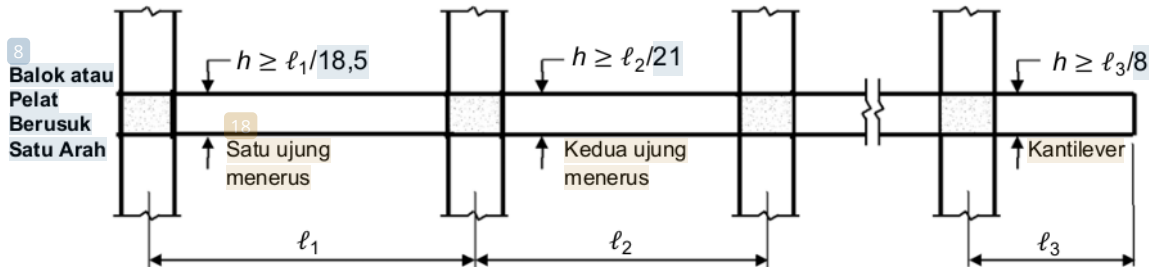
$$n_{max} = \frac{b_w - 2(c_s + d_s + r)}{(spasi\ bersih) + d_b} + 1$$



¹ Alsamsam, I.M. and Kamara, M. E. (2004). *Simplified Design Reinforced Concrete Buildings of Moderate Size and Heights*, EB104, Portland Cement Association, Skokie, IL.

PENUNJANG DESAIN 1-7

Ketebalan Minimum h untuk balok Dan Slab Satu Arah
Kecuali Lentutan Diperhitungkan
ACI 318M-14 ps. 7.3.1 dan 9.3.1.1



- 1 • Diterapkan untuk konstruksi satu arah yang tidak mendukung atau menempel partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak karena lentutan yang besar.
- Nilai yang tertera diterapkan untuk beton berat normal $w_c = 2.400 \text{ kg/m}^3$ dan mutu baja $f_y = 420 \text{ MPa}$. Untuk kondisi lain, modifikasi nilai sebagai berikut:
 - Untuk beton ringan struktural yang memiliki w_c dalam rentang antara 1.440 hingga 1.840 kg/m^3 , kalikan nilai dengan $(1,65 - 0,0003w_c) \geq 1,09$
 - Untuk f_y selain 420 MPa, kalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$
- 1 • Untuk komponen terletak sederhana, minimum $h = \begin{cases} \ell/20 & \text{untuk pelat solid satu arah} \\ \ell/16 & \text{untuk balok/pelat berusuk satu arah} \end{cases}$

PENUNJANG DESAIN 1-8

Rasio Tulangan ρ_t untuk Penampang Terkontrol Tarik
Dengan Mutu Baja 420 MPa

f'_c (MPa)	ρ_t saat $\epsilon_t = 0,005$	ρ_t saat $\epsilon_t = 0,004$
21	0,01355	0,01548
25	0,01613	0,01843
30	0,01903	0,02175
35	0,02125	0,02429

Catatan:

$$1. C = 0,85 f'_c (\beta_1 c) b$$

$$T = A_s f_y$$

$$C = T \Rightarrow 0,85 f'_c (\beta_1 c) b = A_s f_y$$

a. Bilamana $\epsilon_t = 0,005$, $c/d_t = 3/8$

$$0,85 f'_c (\beta_1 \frac{3}{8} d_t) b = A_s f_y$$

$$\rho_t = \frac{A_s}{b d_t} = \frac{0,85 \beta_1 f'_c (\frac{3}{8})}{f_y}$$

b. Bilamana $\epsilon_t = 0,004$, $c/d_t = 3/7$

$$0,85 f'_c (\beta_1 \frac{3}{7} d_t) b = A_s f_y$$

$$\rho_t = \frac{A_s}{b d_t} = \frac{0,85 \beta_1 f'_c (\frac{3}{7})}{f_y}$$

2. β_1 didapat sesuai ACI 318M-14 ps. 22.2.2.4.3.

PENUNJANG DESAIN 1-9

Perhitungan b_w Cara Sederhana dengan Asumsi Tulangan Mutu 420 MPa dan $\rho = 0,5 \rho_{max}$

f'_c (MPa)	b_w (mm)*
21	$\frac{375.450M_u}{d^2}$
25	$\frac{315.390M_u}{d^2}$
30	$\frac{266.850M_u}{d^2}$
35	$\frac{237.950M_u}{d^2}$

1
* M_u dalam kN-m, dan d dalam mm

Secara umum:

$$b_w = \frac{3.045.800 M_u}{\bar{\rho} \beta_1 f'_c (1 - 0,2143 \bar{\rho} \beta_1) d^2}$$

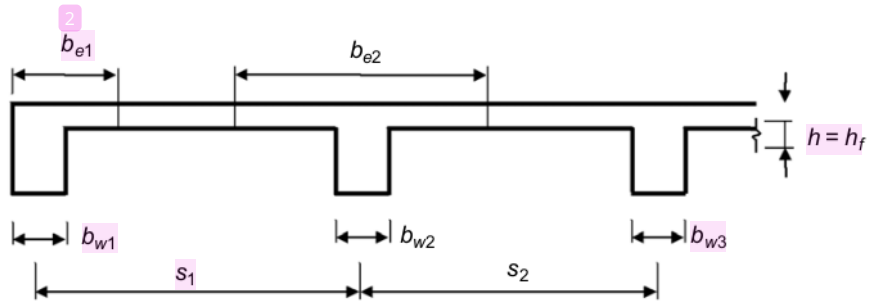
1
Di mana $\bar{\rho} = \rho / \rho_{max}$, f'_c dalam MPa, d dalam mm, dan M_u dalam kN-m dan

$$\rho_{max} = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \frac{0,003}{0,004 + 0,003}$$

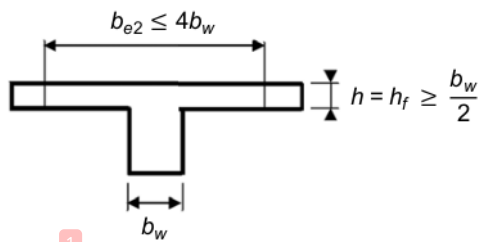
PENUNJANG DESAIN 1-10

Geometri Balok T

ACI 318M-14 ps. 6.3.2



$$b_{e1} \leq \begin{cases} b_{w1} + \frac{\text{Panjang bentang}}{12} \\ b_{w1} + 6h \\ \frac{3b_{w1}}{4} - \frac{b_{w2}}{4} + \frac{s_1}{2} \end{cases} \quad b_{e2} \leq \begin{cases} \frac{\text{Panjang bentang}}{4} \\ b_{w2} + 16h \\ \frac{b_{w2}}{2} - \frac{b_{w1} + b_{w3}}{4} + \frac{s_1 + s_2}{2} \end{cases}$$



Balok T Terpisah

PENUNJANG DESAIN 1-11

Nilai dari $\phi V_s = V_u - \phi V_c$ (kN) Fungsi dari Spasi, s^*

s	Sengkang D-10	Sengkang D-13	Sengkang D-16
$d/2$	99,54	167,59	506,52
$d/3$	149,31	251,37	379,89
$d/4$	199,08	335,16	506,52

* Berlaku untuk sengkang mutu $f_{yt} = 420$ MPa dengan dua kaki (nilai ditabel dikalikan dua untuk 4 kaki, dst).

Umum:

$$\phi V_s = \frac{\phi A_v f_{yt} d}{s} \quad (\text{ACI 318M-14 ps. 22.5.10.5.3})$$

dengan f_{yt} yang digunakan dalam desain dibatasi hingga 420 MPa, kecuali untuk tulangan kawat ulir yang dilas dibatasi hingga 550 MPa (ACI 318M-14 ps. 20.2.2.4)

1 PENUNJANG DESAIN 1-12

Tulangan Geser Minimum $A_{v,min}/s^*$

f'_c (MPa)	$\frac{A_{v,min}}{s} \left(\frac{mm^2}{mm} \right)$
≤ 32	$0,00083b_w$
35	$0,00087b_w$

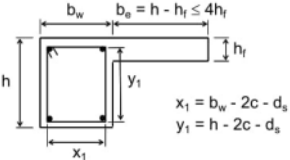
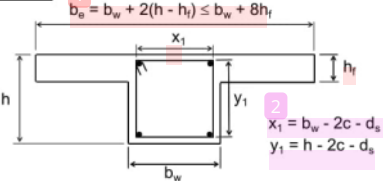
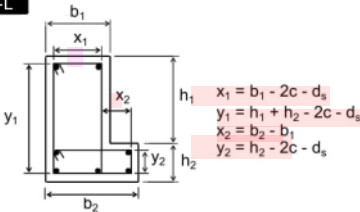
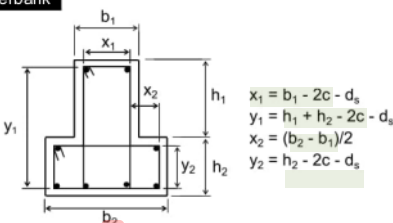
* Berlaku untuk tulangan sengkang $f_{yt} = 420$ MPa

Umum:

$$\frac{A_{v,min}}{s} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \geq \frac{0,35b_w}{f_{yt}} \quad (ACI 318M-14 \text{ ps. } 9.6.3.3)$$

dengan f_{yt} yang digunakan dalam desain dibatasi hingga 420 MPa, untuk tulangan kawat ulir yang dilas dibatasi hingga 550 MPa (ACI 318M-14 ps. 20.2.2.4)

1
PENUNJANG DESAIN 1-13
Properti Penampang Torsi

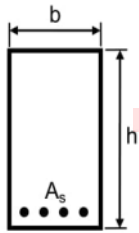
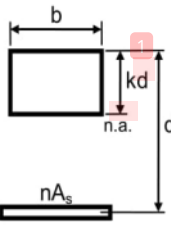
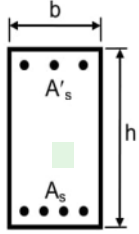
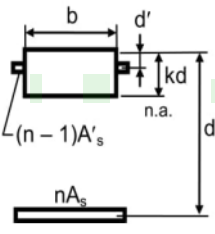
Section*	A_{cp}	p_{cp}	A_{oh}	P_h
Tepi  $b_e = h - h_f \leq 4h_f$ $x_1 = b_w - 2c - d_s$ $y_1 = h - 2c - d_s$	$b_w h + b_e h_f$	$2(h + b_w + b_e)$	$x_1 y_1$	$2(x_1 + y_1)$
Tengah  $b_e = b_w + 2(h - h_f) \leq b_w + 8h_f$ $x_1 = b_w - 2c - d_s$ $y_1 = h - 2c - d_s$	$b_w(h - h_f) + b_e h_f$	$2(h + b_e)$	$x_1 y_1$	$2(x_1 + y_1)$
Bentuk-L  $x_1 = b_1 - 2c - d_s$ $y_1 = h_1 + h_2 - 2c - d_s$ $x_2 = b_2 - b_1$ $y_2 = h_2 - 2c - d_s$	$b_1 h_1 + b_2 h_2$	$2(h_1 + h_2 + b_2)$	$x_1 y_1 + x_2 y_2$	$2(x_1 + x_2 + y_1)$
T Terbalik  $x_1 = b_1 - 2c - d_s$ $y_1 = h_1 + h_2 - 2c - d_s$ $x_2 = (b_2 - b_1)/2$ $y_2 = h_2 - 2c - d_s$	$b_1 h_1 + b_2 h_2$	$2(h_1 + h_2 + b_2)$	$x_1 y_1 + 2x_2 y_2$	$2(x_1 + 2x_2 + y_1)$

* Notasi: x_1, y_1 = dimensi pusat ke pusat sengkang tertutup persegi
 c = penutup beton bersih ke sengkang tertutup
 d_s = diameter dari sengkang tertutup

Catatan : Abaikan sayap balok pada kasus di mana nilai A_{cp}^2/p_{cp} yang dihitung pada balok dengan meyeritakan sayap nilainya lebih kecil dibandingkan dengan balok yang sama dengan mengabaikan sayap (ACI 318M-14 ps. 9.2.4.4).

PENUNJANG DESAIN 1-14

Moment Inersia Penampang Retak Ditransformasi ke Beton, I_{cr}

Penampang Bruto	Penampang Retak Transformasi	Momen Inersia Retak, I_{cr}
		$I_{cr} = \frac{b(kd)^3}{3} + nA_s(d - kd)^2$ <p>dengan</p> $kd = \frac{\sqrt{2dB + 1} - 1}{B}$
		$I_{cr} = \frac{b(kd)^3}{3} + nA_s(d - kd)^2 + (n-1)A'_s(kd - d')^2$ <p>dengan</p> $kd = \frac{\sqrt{(2dB + (1+r)^2) - (1+r)}}{B}$

$$I_g = bh^3/3$$

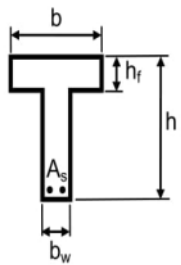
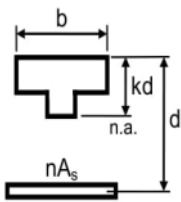
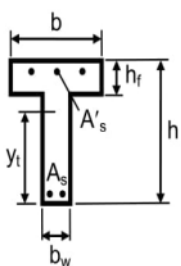
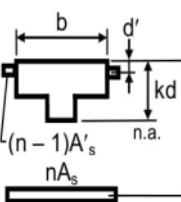
$$n = E_s/E_c$$

$$B = b/(nA_s)$$

$$r = (n-1)A'_s/(nA_s)$$

PENUNJANG DESAIN 1-14

Moment Inersia Penampang Retak Ditransformasi ke Beton, I_{cr}
(lanjutan)

Penampang Bruto	Penampang Retak Transformasi	Momen Inersia Retak, I_{cr}
		$I_{cr} = \frac{(b - b_w)h_f^3}{3} + \frac{b_w(kd)^3}{3} + (b - b_w)h_f\left(kd - \frac{h_f}{2}\right)^2 + nA_s(d - kd)^2$ <p>dengan</p> $kd = \frac{\sqrt{C(2d + hf) + (1 + f)^2} - (1 + f)}{C}$
		$I_{cr} = \frac{(b - b_w)h_f^3}{3} + \frac{b_w(kd)^3}{3} + (b - b_w)h_f\left(kd - \frac{h_f}{2}\right)^2 + nA_s(d - kd)^2 + (n - 1)A_s'(kd - d')^2$ <p>dengan</p> $kd = \frac{\sqrt{C(2d + hf + 2rd') + (1 + r + f)^2} - (1 + r + f)}{C}$

$$y_t = h - \left\{ 0,5 \left[\frac{(b - b_w)h_f^2 + b_w h^2}{(b - b_w)h_f + b_w h} \right] \right\}$$

$$I_g = (b - b_w)h_f^3/12 + b_w h^3/12 + (b - b_w)h_f(h - 0,5h_f - y_t)^2 + b_w h(y_t - 0,5h)^2$$

$$n = E_s/E_c$$

$$C = b_w/(nA_s)$$

$$f = h_f(b - b_w)/(nA_s)$$

$$r = (n - 1)A_s'/(nA_s)$$

PENUNJANG DESAIN 1-15

1 Persamaan Pendekatan Untuk Menghitung Lendutan Seketika, Δ_i , untuk Komponen dengan Pembebanan Terdistribusi Merata

$$\Delta_i = \frac{5 K M_a \ell^2}{48 E_c I_e}$$

Dimana M_a = momen neto di tengah bentang atau kantilever
 ℓ = panjang Bentang
 E_c = modulus elastisitas beton (19.2.2.1)
 $= w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c}$ untuk nilai w_c di antara 1.400 dan 2.560 kg/m³
 w_c = berat jenis beton
 I_e = momen inersia efektif
 K = konstanta yang tergantung pada kondisi bentang

Kondisi Bentang	K
Kantilever*	2,0
Sederhana	1,0
Menerus	$1,2 - 0,2(M_o/M_a)^{**}$

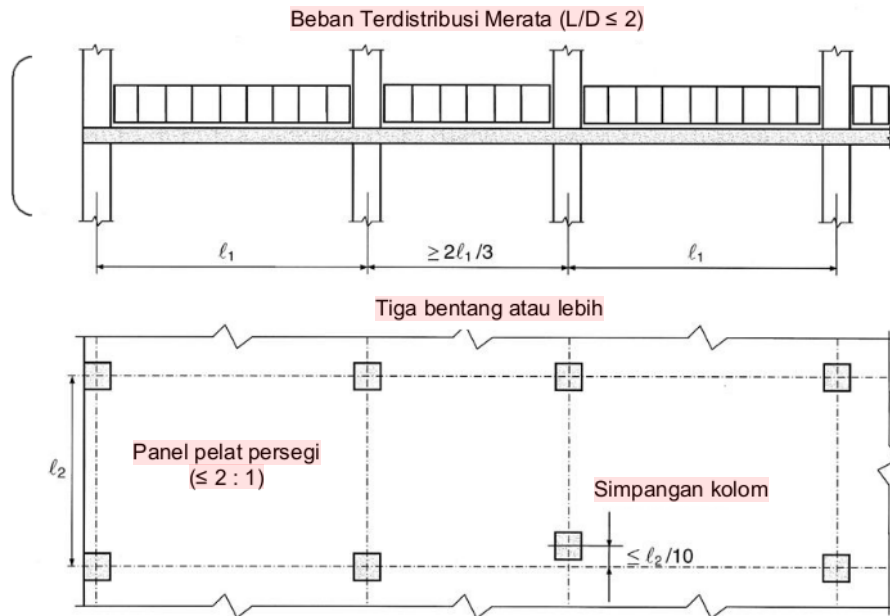
* Tidak termasuk lendutan akibat rotasi di tumpuan

** $M_o = w\ell^2/8$ (momen tengah bentang tumpuan sederhana)

PENUNJANG DESAIN 2-1

Kondisi Analisa dengan Metode Desain Langsung

ACI 318M-14 ps. 8.10



Untuk panel yang ditopang balok di seluruh sisinya, Pers. (8.10.2.7a) harus dipenuhi:

$$0,2 \leq \frac{\alpha_{f1} l_2^2}{\alpha_{f2} l_1^2} \leq 5,0$$

di mana $\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$ Pers (8.10.2.7b)

E_c = modulus elastisitas beton (19.2.2.1)

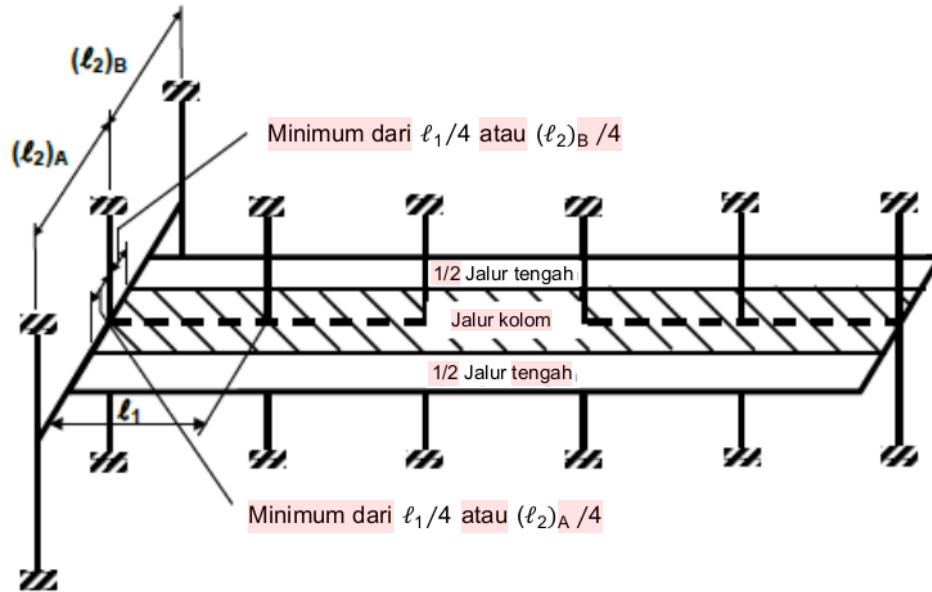
$$= w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f_c} \text{ untuk nilai } w_c \text{ di antara } 1.400 \text{ dan } 2.560 \text{ kg/m}^3$$

I_b, I_s = momen inersia balok dan slab

PENUNJANG DESAIN 2-2

Definisi jalur Kolom dan Jalur Tengah

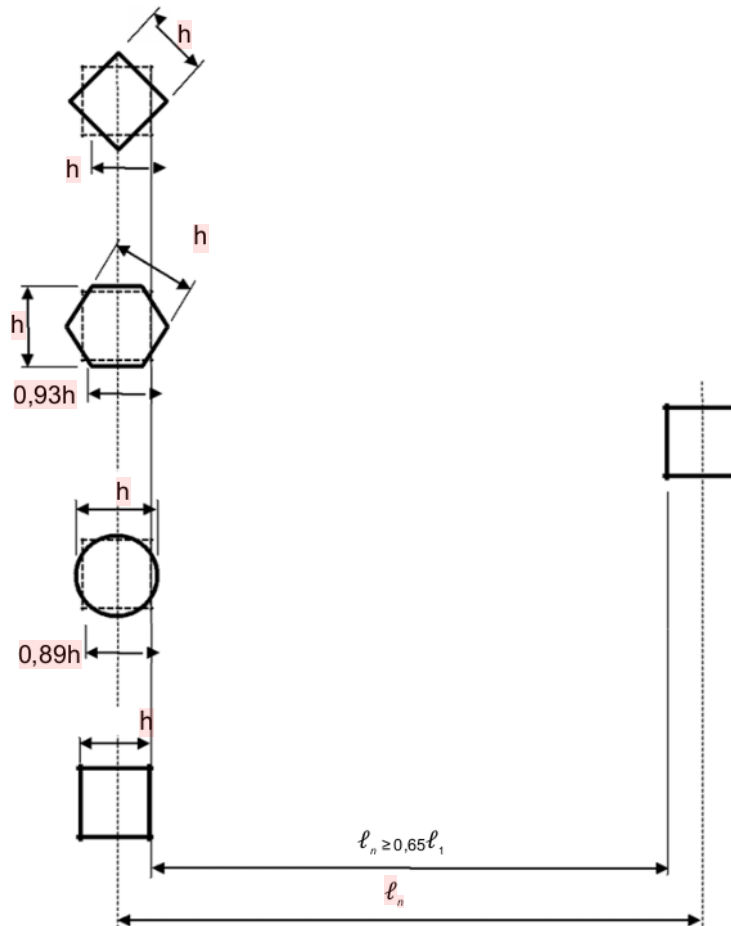
ACI 318M-14 ps. 8.4.1.5, ps.8.4.1.6



PENUNJANG DESAIN 2-3

Definisi Bentang Bersih, ℓ_n

ACI 318M-14 ps. 8.10.3.2.1

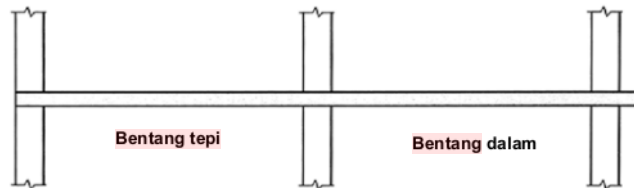


PENUNJANG DESAIN 2-4

Koefisien Momen Desain pada Metode Desain Langsung

ACI 318M-14 ps. 8.10.4 – ps. 8.10.6

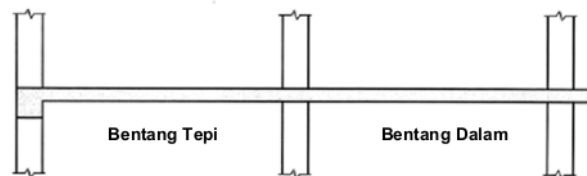
Pelat Datar atau Slab Datar



	Negatif Luar	Positif	Negatif Dalam Pertama	Positif	Negatif Dalam
Momen Total	$0,26M_o$	$0,52M_o$	$0,70M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$
Lajur Kolom	$0,26M_o$	$0,31M_o$	$0,53M_o$	$0,21M_o$	$0,49M_o$
Lajur Tengah	0	$0,21M_o$	$0,17M_o$	$0,14M_o$	$0,16M_o$

Catatan : Semua momen negatif adalah didepan muka tumpuan

Pelat Datar atau Slab Datar dengan Balok Spandrel



	Negatif Luar	Positif	Negatif Dalam Pertama	Positif	Negatif Dalam
Momen Total	$0,30M_o$	$0,50M_o$	$0,70M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$
Lajur Kolom	$0,23M_o$	$0,30M_o$	$0,53M_o$	$0,21M_o$	$0,49M_o$
Lajur Tengah	$0,07M_o$	$0,20M_o$	$0,17M_o$	$0,14M_o$	$0,16M_o$

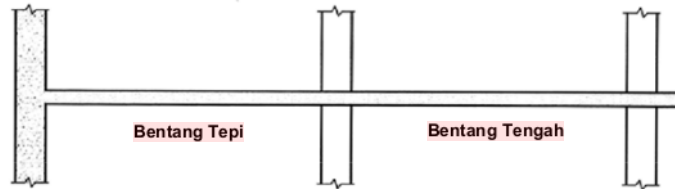
Catatan: (1) Semua momen negatif adalah di depan muka tumpuan
 (2) Kekakuan torsi balok sprandel $\beta_t \geq 2,5$. Untuk nilai $\beta_t < 2,5$, momen negatif luar jalur kolom diperbesar menjadi $(0,30 - 0,03 \beta_t)M_o$

PENUNJANG DESAIN 2-4

Koefisien Momen Desain pada Metode Desain Langsung

ACI 318M-14 ps. 8.10.4 – 8.10.6
(lanjutan)

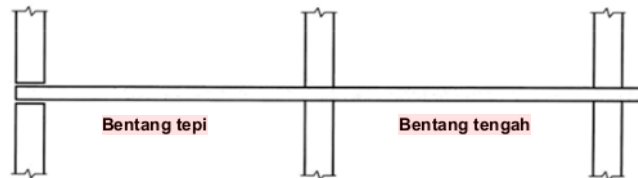
Pelat Datar atau Slab Datar dengan Bentang Tepi Terintegrasi dengan Dinding



	Negatif Luar	Positif	Negatif Dalam Pertama	Positif	Negatif Dalam
Momen Total	$0,65M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$
Lajur Kolom	$0,49M_o$	$0,21M_o$	$0,49M_o$	$0,21M_o$	$0,49M_o$
Lajur Tengah	$0,16M_o$	$0,14M_o$	$0,16M_o$	$0,14M_o$	$0,16M_o$

Catatan : Semua momen negatif adalah didepan muka tumpuan

Pelat datar atau slab datar dengan ujung bentang tertumpu sederhana pada dinding



	Negatif Luar	Positif	Negatif Dalam Pertama	Positif	Negatif Dalam
Momen Total	0	$0,63M_o$	$0,75M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$
Lajur Kolom	0	$0,38M_o$	$0,56M_o$	$0,21M_o$	$0,49M_o$
Lajur Tengah	0	$0,25M_o$	$0,19M_o$	$0,14M_o$	$0,16M_o$

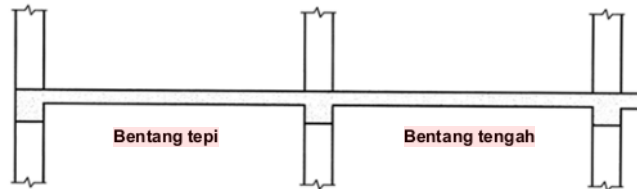
Catatan : Semua momen negatif adalah di depan muka tumpuan

PENUNJANG DESAIN 2-4

1
Koefisien Momen Desain pada Metode Desain Langsung

ACI 318M-14 ps. 8.10.4 – 8.10.6
(lanjutan)

Slab dua arah tertumpu balok



		Momen	Negatif Luar	Positif	Negatif Dalam Pertama	Positif	Negatif Dalam
ℓ_2/ℓ_1	Total		$0,16M_o$	$0,57M_o$	$0,70M_o$	$0,35M_o$	$0,65M_o$
	0,5	Jalur Kolom	Balok $0,12M_o$	$0,43M_o$	$0,54M_o$	$0,27M_o$	$0,50M_o$
		Slab	$0,02M_o$	$0,08M_o$	$0,09M_o$	$0,05M_o$	$0,09M_o$
	Jalur tengah		$0,02M_o$	$0,06M_o$	$0,07M_o$	$0,03M_o$	$0,06M_o$
1,0	Jalur Kolom	Balok	$0,10M_o$	$0,37M_o$	$0,45M_o$	$0,22M_o$	$0,42M_o$
		Slab	$0,02M_o$	$0,06M_o$	$0,08M_o$	$0,04M_o$	$0,07M_o$
	Jalur tengah		$0,04M_o$	$0,14M_o$	$0,17M_o$	$0,09M_o$	$0,16M_o$
2,0	Jalur Kolom	Balok	$0,06M_o$	$0,22M_o$	$0,27M_o$	$0,14M_o$	$0,25M_o$
		Slab	$0,04M_o$	$0,04M_o$	$0,05M_o$	$0,02M_o$	$0,04M_o$
	Jalur tengah		$0,09M_o$	$0,31M_o$	$0,38M_o$	$0,19M_o$	$0,36M_o$

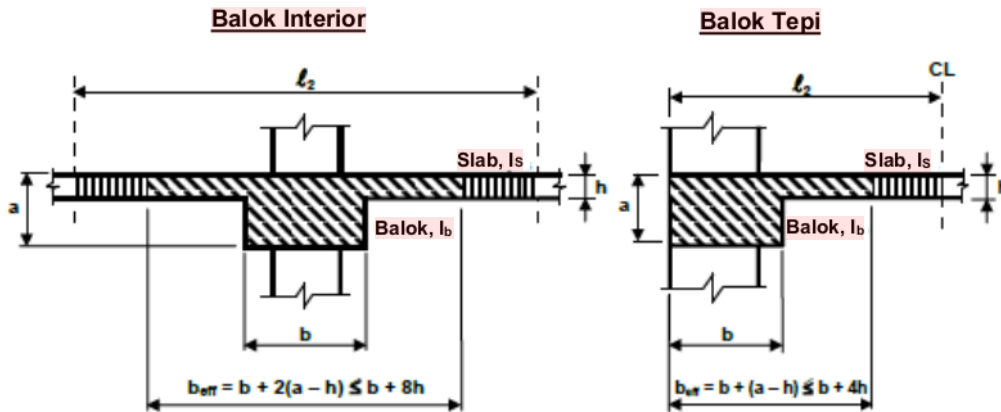
Catatan: (1) Semua momen negatif adalah di depan muka tumpuan
(2) Kekakuan torsi balok sprandel $\beta_t \geq 2,5$. Untuk nilai $\beta_t \geq 2,5$, momen negatif luar Jalur kolom diperbesar menjadi $(0,3 - 0,03 \beta_t)M_o$

Catatan:

- M_o mengikuti definisi ACI 318M-14 ps. 10.8.3.2

PENUNJANG DESAIN 2-5

Penampang efektif balok dan slab untuk menghitung rasio kekakuan α_f



$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad \text{1} \quad \text{Persamaan (13-3) ACI 318M-14}$$

E_c = modulus elastisitas beton (ACI 318M-14 ps. 19.2.2.1)

$$= w_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f_c} \quad \text{1} \quad \text{Untuk nilai } w_c \text{ diantara } 1.400 \text{ kg/m}^3 \text{ dan } 2.560 \text{ kg/m}^3$$

$$I_s = \frac{1}{12} l_2 h^3$$

$$I_b = \frac{1}{12} b(a-h)^3 + b(a-h) \left(y_b - \frac{a-h}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} b_{eff} h^3 + b_{eff} h \left(a - \frac{h}{2} - y_b \right)^2 \quad \text{2}$$

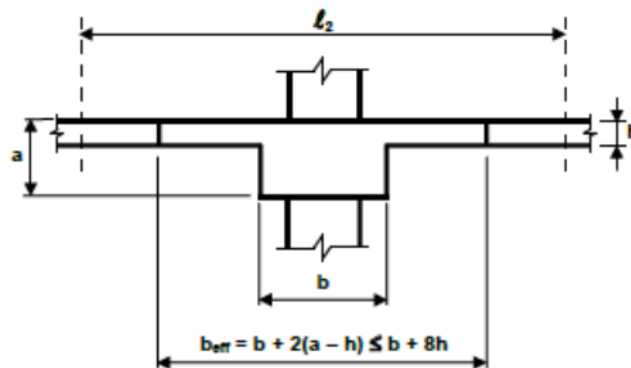
dengan

$$y_b = \frac{b_{eff} \left(a - \frac{h}{2} \right) + \frac{b}{2} (a-h)^2}{b_{eff} h + b(a-h)}$$

PENUNJANG DESAIN 2-6

Perhitungan ¹ Faktor Kekakuan Torsi, β_t , Untuk penampang T dan L

Balok Interior



Kasus A	
	$C_A = \left(1 - 0,63 \frac{x_1}{y_1}\right) \frac{x_1^3 y_1}{3} + 2 \left(1 - 0,63 \frac{x_2}{y_2}\right) \frac{x_2^3 y_2}{3}$
Kasus B	
	$C_B = \left(1 - 0,63 \frac{x_1}{y_1}\right) \frac{x_1^3 y_1}{3} + \left(1 - 0,63 \frac{x_2}{y_2}\right) \frac{x_2^3 y_2}{3}$

$C =$ Maksimum dari C_A dan C_B

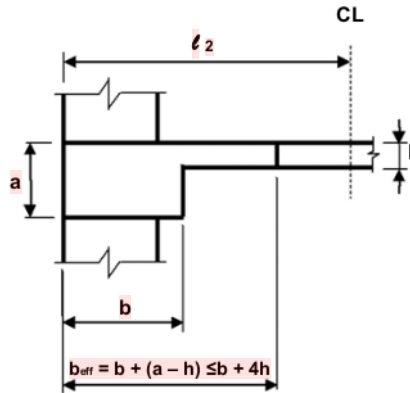
$$\beta_t = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} \text{ Persamaan (8.10.5.2.a) ACI 318M-14}$$

dengan $I_s = \ell_2 h^3 / 12$ dan $E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c}$. Untuk nilai w_c di antara 1.400 kg/m³ dan 2.560 kg/m³ (ACI 318M-14 ps. 19.2.2.1)

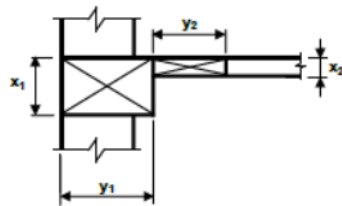
PENUNJANG DESAIN 2-6

Perhitungan **1** Faktor Kekakuan Torsi, β_t , Untuk penampang T dan L
(lanjutan)

Balok Tepi

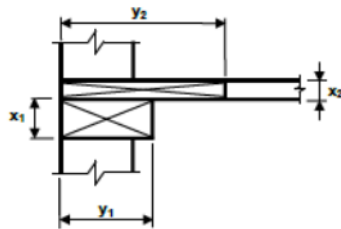


Kasus A



$$C_A = \left(1 - 0,63 \frac{x_1}{y_1}\right) \frac{x_1^3 y_1}{3} + \left(1 - 0,63 \frac{x_2}{y_2}\right) \frac{x_2^3 y_2}{3}$$

Kasus B



$$C_B = \left(1 - 0,63 \frac{x_1}{y_1}\right) \frac{x_1^3 y_1}{3} + \left(1 - 0,63 \frac{x_2}{y_2}\right) \frac{x_2^3 y_2}{3}$$

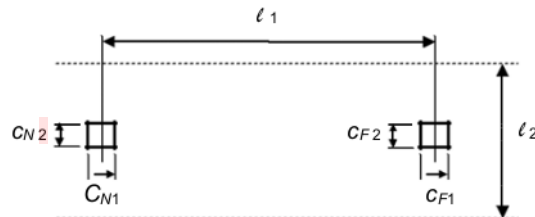
C = maksimum dari C_A dan C_B

$$\beta_t = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} \text{ Persamaan (8.10.5.2a) ACI 318M-14}$$

dengan $I_s = \ell_2 h^3 / 12$ dan $E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c}$. Untuk nilai w_c diantara 1.400 kg/m³ dan 2.560 kg/m³ (ACI 318M-14 ps. 19.2.2.1)

1 PENUNJANG DESAIN 2-7

Konstanta Distribusi Momen untuk komponen Balok-Slab tanpa Panel Drop*



C_{N1} / l_1	C_{N2} / l_2	Faktor kekakuan, k_{NF}	Factor induksi, C_{NF}	Koefisien Momen Jepit, m_{NF}
0,10	0,10	4,18	0,51	0,0847
	0,20	4,36	0,52	0,0860
	0,30	4,53	0,54	0,0872
	0,40	4,70	0,55	0,0882
0,20	0,10	4,35	0,52	0,0857
	0,20	4,72	0,54	0,0880
	0,30	5,11	0,56	0,0901
	0,40	5,51	0,58	0,0921
0,30	0,10	4,49	0,53	0,0863
	0,20	5,05	0,56	0,0893
	0,30	5,69	0,59	0,0923
	0,40	6,41	0,61	0,0951
0,40	0,10	4,61	0,53	0,0866
	0,20	5,35	0,56	0,0901
	0,30	6,25	0,60	0,0936
	0,40	7,37	0,64	0,0971

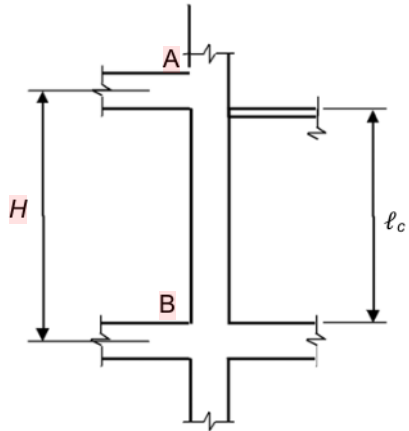
Kekakuan Balok-Slab $K_{sb} = k_{NF} E_{cs} I_{sb} / l_1$

Momen Jepit $FEM = m_{NF} q_u l_2 l_1^2$

Berlaku bila (1) $C_{N1} = C_{F1}$ dan $C_{N2} = C_{F2}$ dan (2) sebuah beban merata q_u bekerja sepanjang bentang. Untuk kasus lain lihat *PCA Notes on ACI 318-14*, termasuk konstanta untuk komponen dengan panel drop.

PENUNJANG DESAIN 2-8

Kekakuan dan Faktor Induksi untuk Kolom



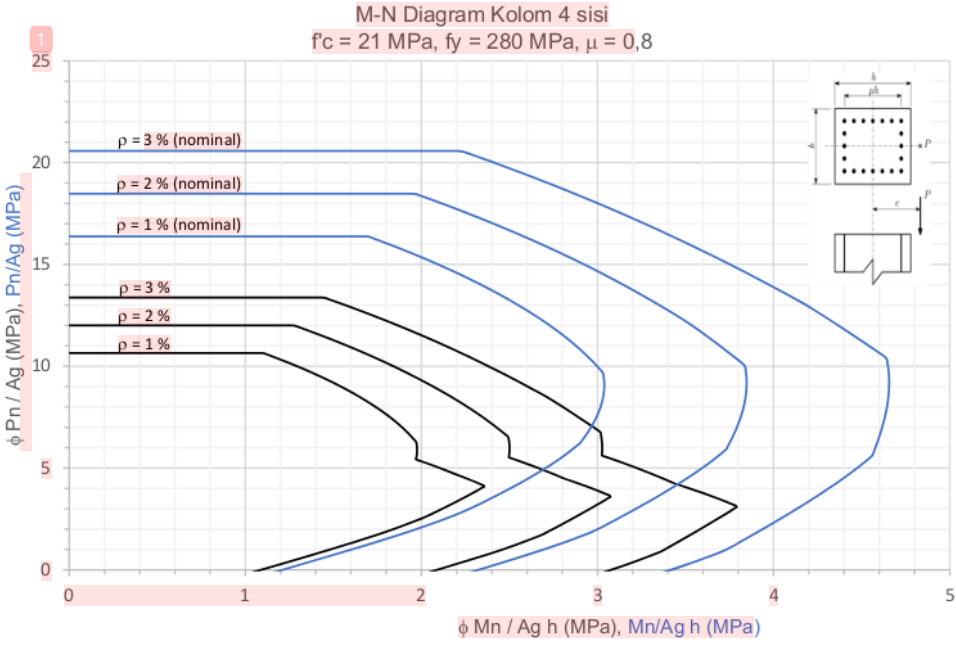
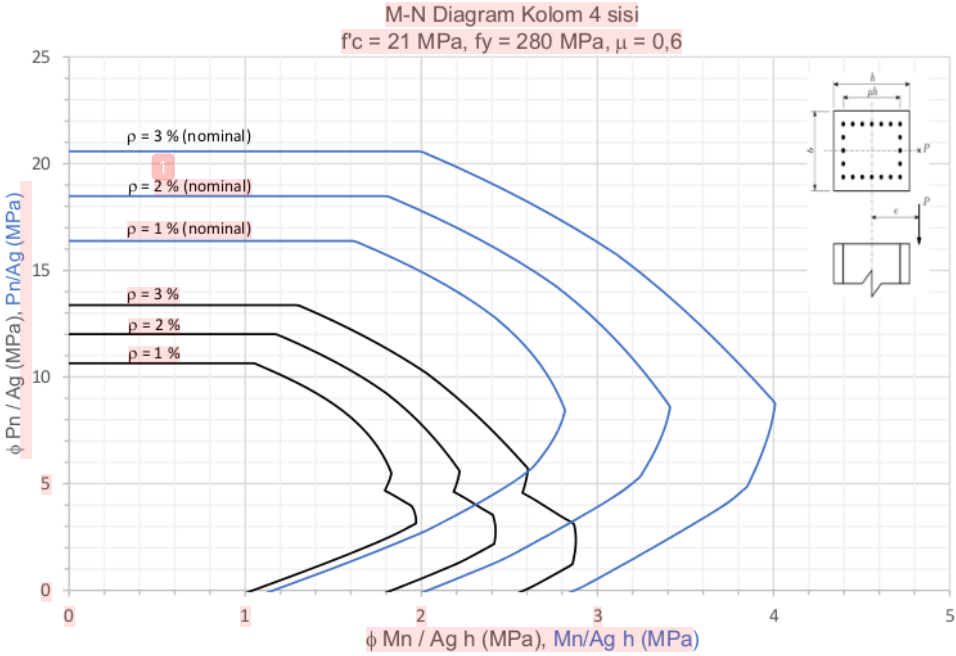
H/l_c	Factor kekakuan, k_{AB}	Factor Induksi, C_{AB}
1,05	4,52	0,54
1,10	5,09	0,57
1,15	5,71	0,60
1,20	6,38	0,62
1,25	7,11	0,65
1,30	7,89	0,67
1,35	8,73	0,69
1,40	9,63	0,71
1,45	10,60	0,73
1,50	11,62	0,74

Kekakuan Kolom:
$$\begin{cases} (K_c)_{AB} = k_{AB} E_{cc} I_c / l_c \\ (K_c)_{BA} = k_{BA} E_{cc} I_c / l_c \end{cases}$$

*Untuk kasus lain, lihat *PCA Notes on ACI 318-14*, termasuk komponen dengan drop panel dan kepala tiang.

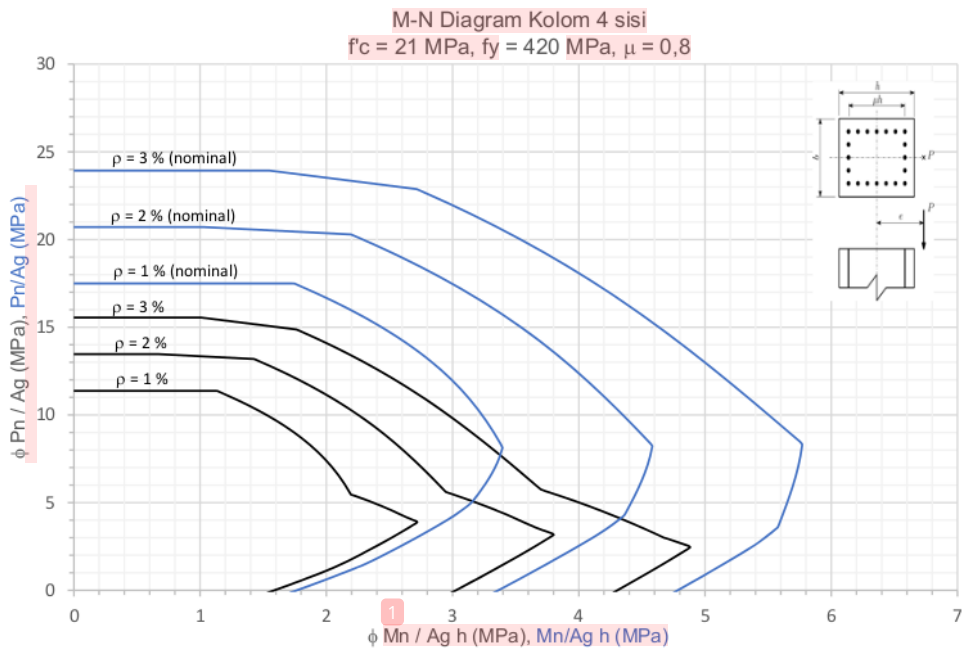
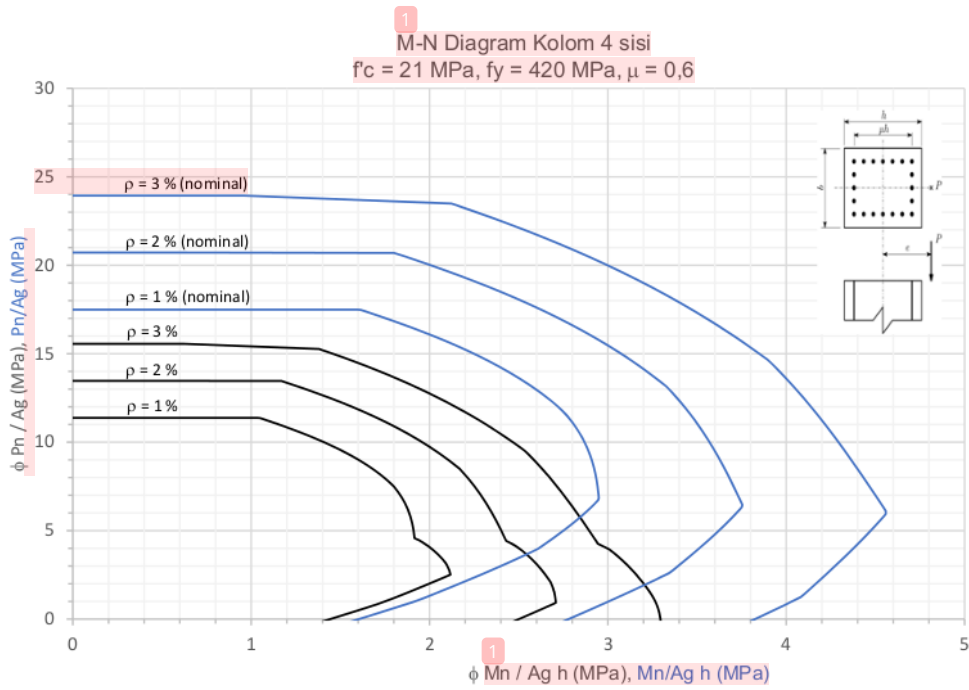
ALAT BANTU DESAIN 3-1

M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 21 \text{ MPa}$, $f_y = 280 \text{ MPa}$, $\mu = 0,6$ dan $0,8$



ALAT BANTU DESAIN 3-2

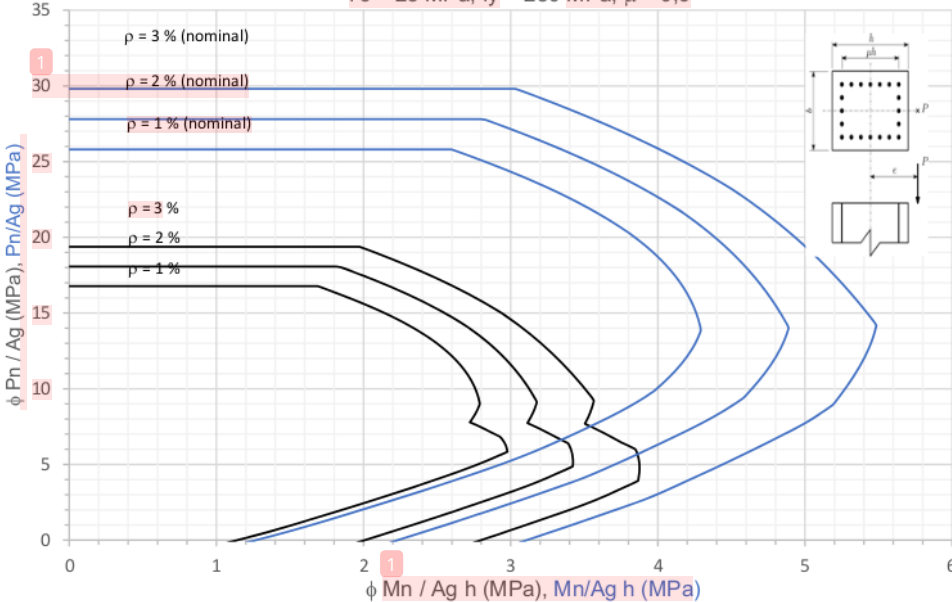
M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f_c' = 21$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$



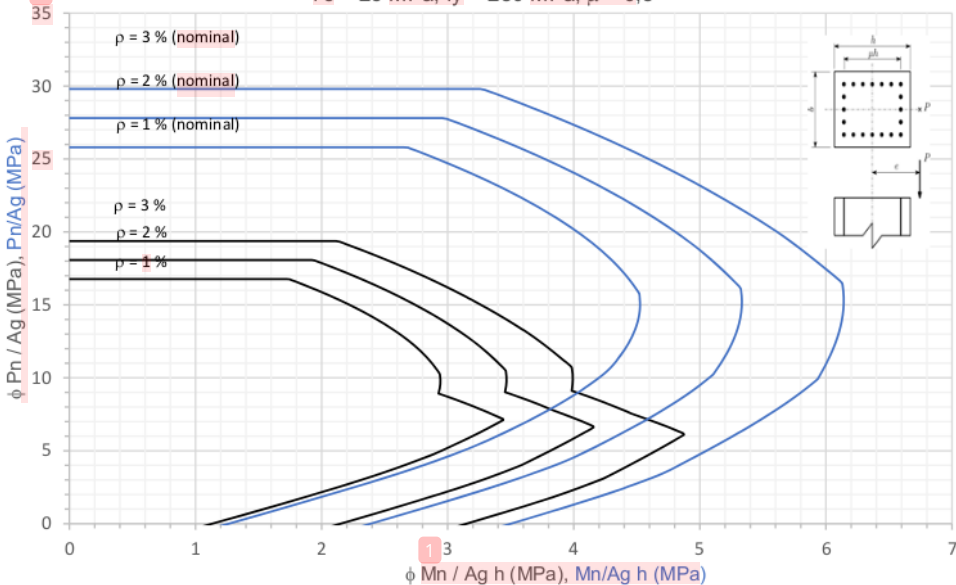
ALAT BANTU DESAIN 3-3

M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 280 \text{ MPa}$, $\mu = 0,6$ dan $0,8$

M-N Diagram Kolom 4 sisi
 $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 280 \text{ MPa}$, $\mu = 0,6$

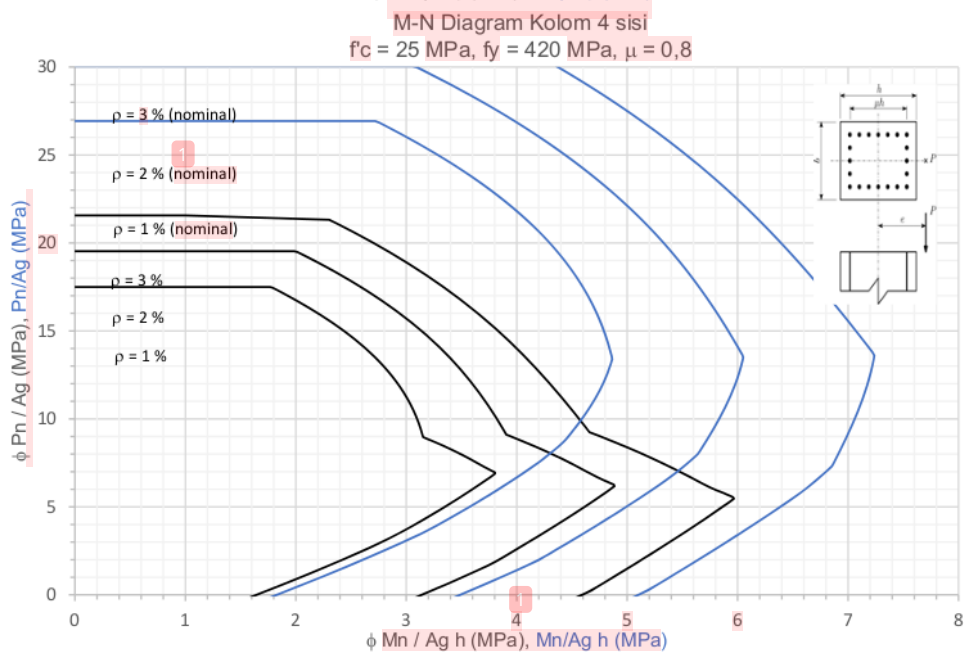
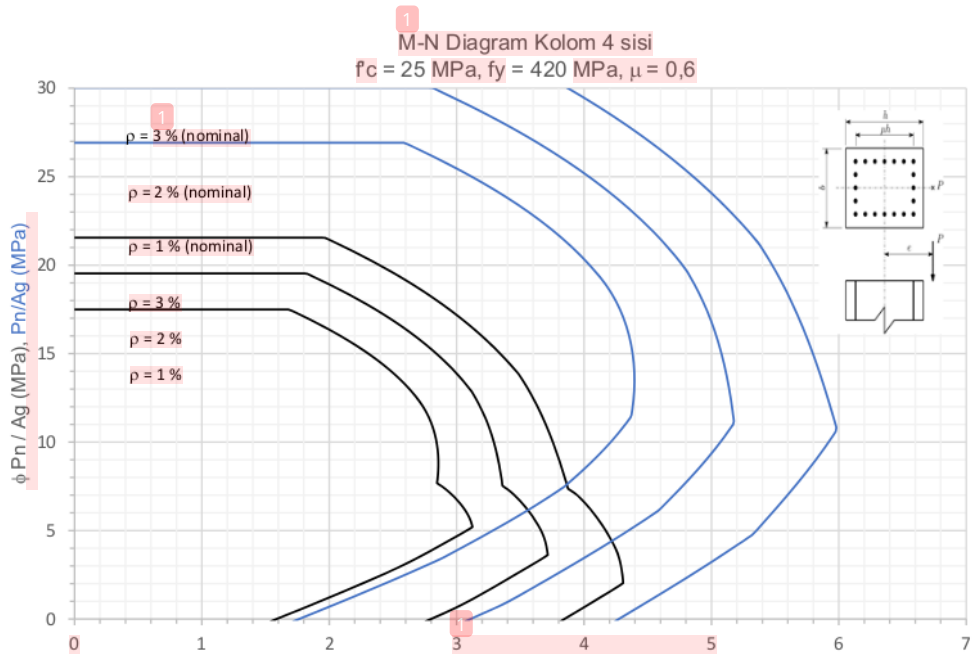


M-N Diagram Kolom 4 sisi
 $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 280 \text{ MPa}$, $\mu = 0,8$

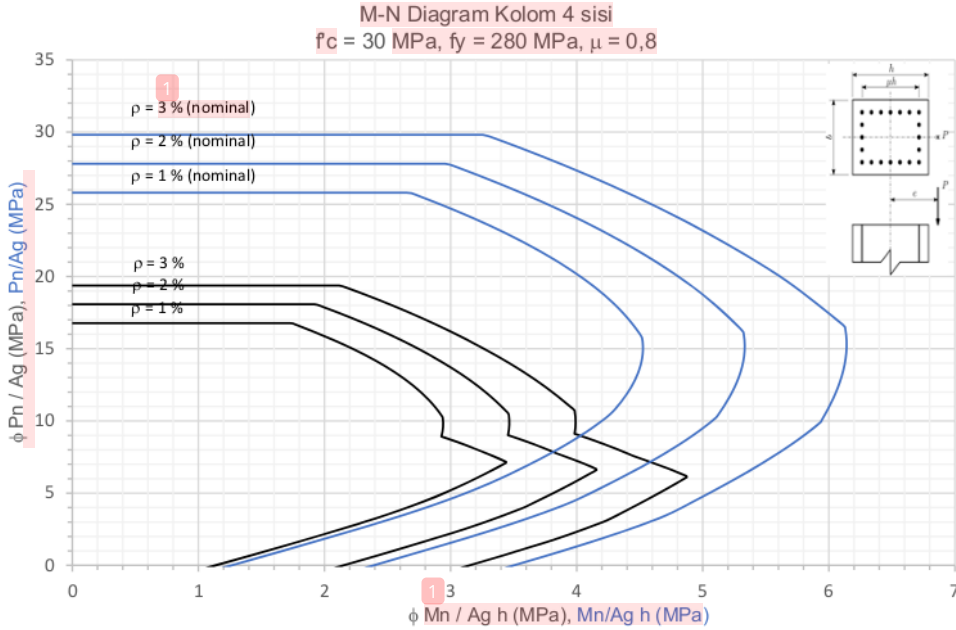
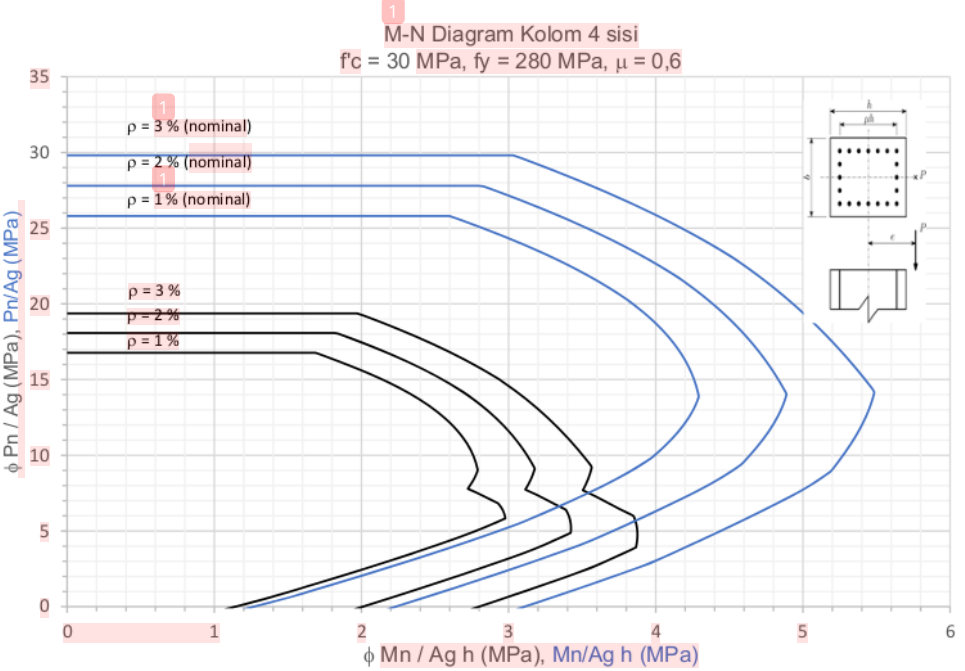


PENUNJANG DESAIN 3-4

M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$, $\mu = 0,6$ dan $0,8$

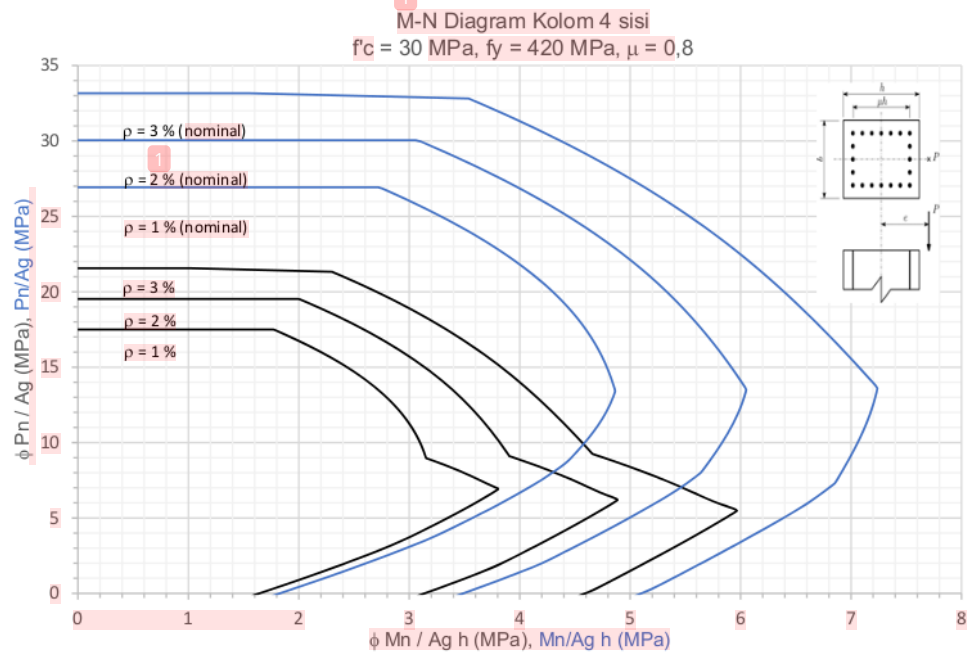
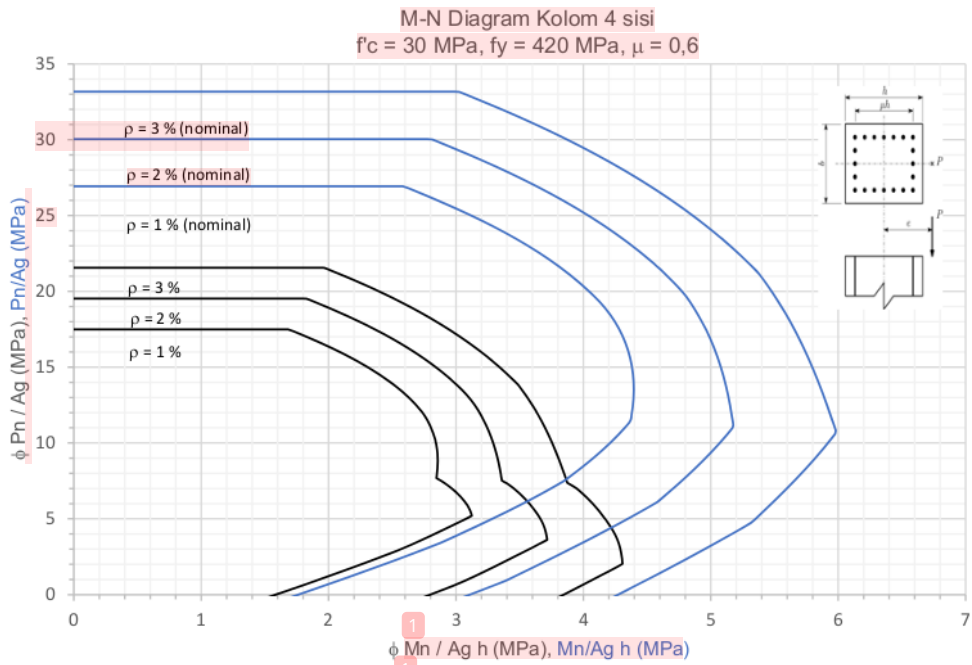


ALAT BANTU DESAIN 3-5
M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f_c' = 30$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$

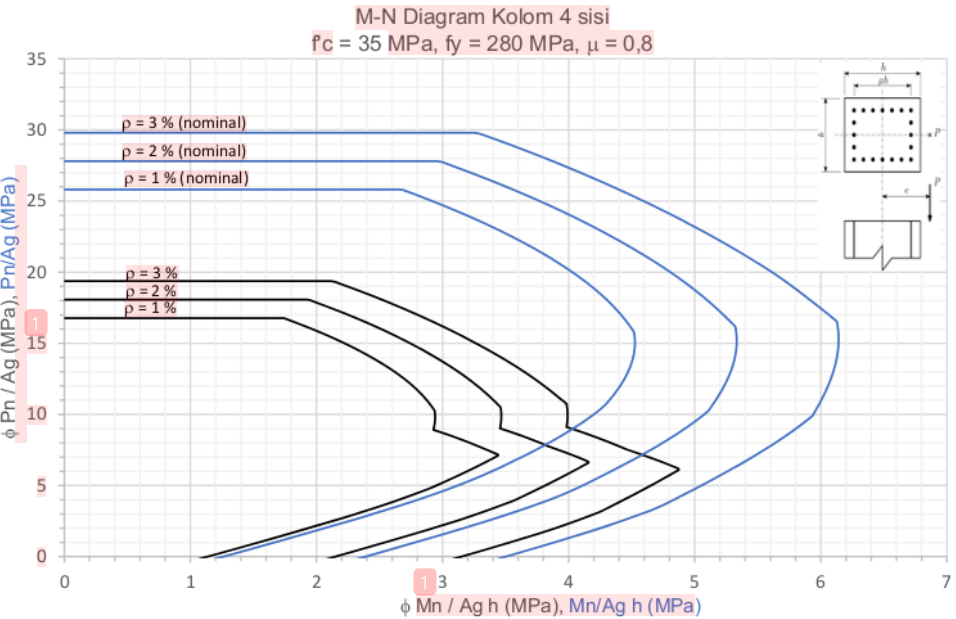
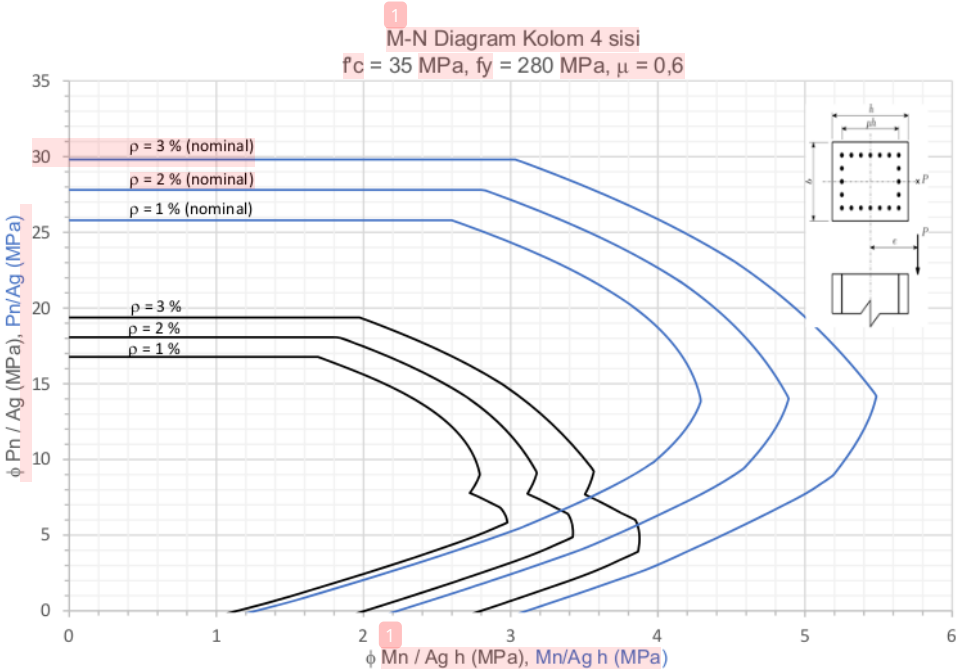


ALAT BANTU DESAIN 3-6

M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 30$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$

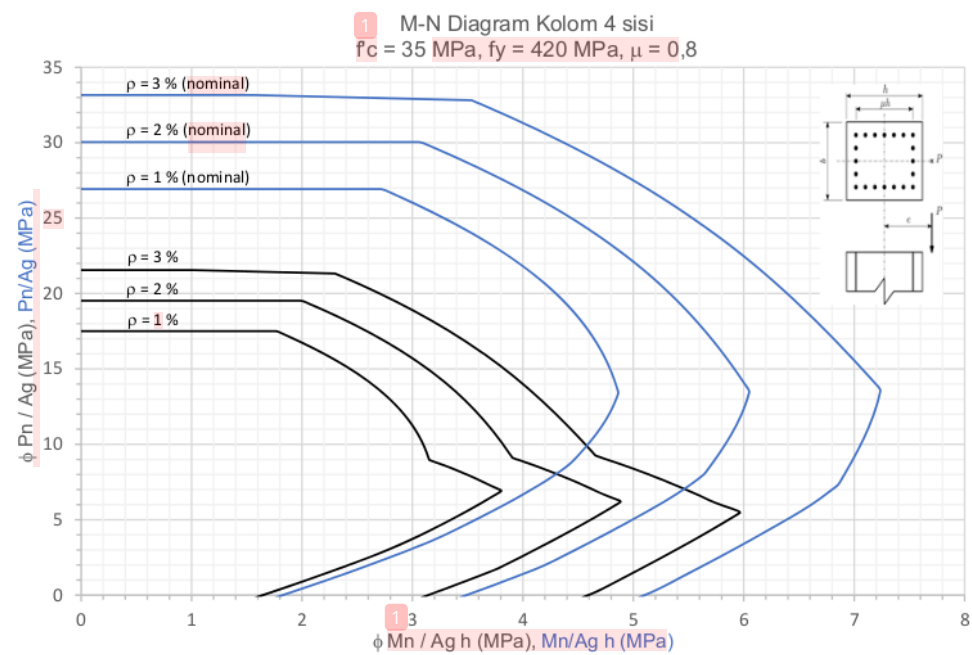
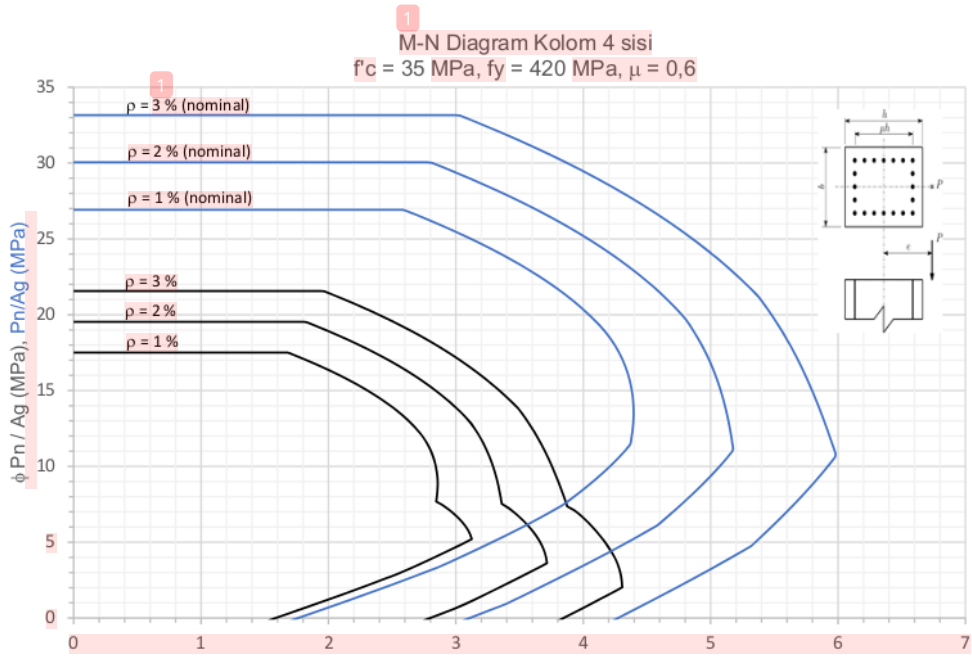


1
ALAT BANTU DESAIN 3-7
M-N Diagram Kolom 4 Sisi, $f_c' = 35$ MPa, $f_y = 280$ MPa, $\mu = 0,6$



ALAT BANTU DESAIN 3-8

M-N diagram Kolom 4 Sisi, $f'_c = 35$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $\mu = 0,6$ dan $0,8$



1
LAMPIRAN C
(informatif)

**DAFTAR DEVIASI SNI PANDUAN DESAIN SEDERHANA UNTUK BANGUNAN
BETON BERTULANG TERHADAP ACI 314R-16**

Uraian/Pasal	Modifikasi
Pasal 2.1	Untuk notasi A_a diganti sesuai dengan SNI 1726
Pasal 4.9	Pernyataan terkait beban salju dihapus karena tidak relevan untuk kondisi Indonesia
Pasal 4.10.2.2	Pada Paragraf 2: <i>"Table 4.10.2.2 gives typical values of basic wind speed at strength level given as a guide for regions outside of the United States and countries where wind speed velocity information is not available. The user should refer to historical records or local regulations for actual design speed. A distinction should be made between the type of basic wind speed (3-second gust or fastest mile), the mean return period, and the type of exposure where the wind velocity is defined. Given the lateral-load building stiffness obtained from the guide, a gust effect factor is not included in the procedure."</i> Disesuaikan dengan kondisi di Indonesia dengan diganti dengan: <i>"Kecepatan angin yang digunakan harus berdasarkan peta angin Indonesia."</i>
Tabel 4.10.2.2	Tabel 4.10.2.2 dihilangkan karena tabel tersebut mencantumkan kecepatan angin di Amerika Serikat yang berdasar atas spektral angin setempat. Nilai kecepatan angin desain yang diberikan di tabel terlalu besar dibandingkan dengan kecepatan angin di Indonesia.
Persamaan 4.11.2.6	Simplifikasi beban gempa untuk bangunan rendah, sehingga Persamaan $S_a = 2.5A_a F_a$ dirubah menjadi $S_a = S_{DS}$
1 Pasal 4.11.3.3	Kalimat terakhir yang mengandung beban salju tidak dicantumkan karena beban salju tidak relevan untuk kondisi Indonesia. <i>"In storage occupancies, W_s should also include 25 percent of the live load and the snow load when the snow load exceeds 30 lb/ft² (1.4 kPa)."</i> Menjadi: "Pada ruang penyimpanan, W_s juga harus mencakup 25 persen dari beban hidup."

Uraian/Pasal	Modifikasi
Bagian dalam Pasal yang merujuk ACI 318, ASCE 7, dan the International Building Code (International Code Council 2015)	Karena sudah diadopsi modifikasi menjadi SNI, sehingga rujukan diganti menjadi: – ACI 318 diganti dengan SNI 2847 ASCE 7 dan dan <i>the International Building Code (International Code Council 2015)</i> diganti dengan SNI 1726 dan SNI 1727
Istilah	Istilah tulangan polos dihapuskan dari Standar ini

1 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. Suprpto, 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

NO,	NAMA	INSTANSI
<i>Koordinator Tim</i>		
1	Ir. Lutfi Faizal	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR
<i>Ketua Tim</i>		
2	Dr. Ir. Djoni Simanta, MT	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
<i>Wakil Ketua Tim</i>		
3	Ir. Suradjin Sutjipto, MS.	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Trisakti/ Suradjin Sutjipto Inc, (SSI)
<i>Anggota Tim</i>		
4	Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
5	Prof. Tavo, ST, MT, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
6	Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
7	Dr.-Ing. Ir. Andreas Triwiyono	Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM)
8	Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Institut teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
9	Dr. Ir. Nathan Madutujuh, M.Sc	HAKI Komda Jabar
10	Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl.E.Eng	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR
11	Ferri Eka Putra, ST, Dipl.E.Eng, MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR

SNI 8900:2020

NO,	NAMA	INSTANSI
12	Ir. Wahyu Wuryanti, M.Sc	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR
13	Moh. Rusli, ST, MDM	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR
14	Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
15	Wisena Perceka, Ph.D	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
16	Naomi Pratiwi B, Eng, M.Sc	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
17	Sisi Nova Rizkiani, ST, MT	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
18	Wivia Octarena Nugroho, ST, MT	Prodi Teknik Sipil - Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
19	Erwin Lim, ST, MS, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
20	Patria Kusumaningrum, ST, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
21	Prof. Dr. Ir. Han Ay Lie, M.Eng	Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Diponegoro
22	Lena Tri Lestari, ST	Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Diponegoro
23	Dwinita Fibriani Astuti, ST	Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Diponegoro

[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,

Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang

ORIGINALITY REPORT

88%

SIMILARITY INDEX

88%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.upi-yai.ac.id Internet Source	87%
2	pt.scribd.com Internet Source	<1%
3	cobweb.ecn.purdue.edu Internet Source	<1%
4	protectyourrights.net Internet Source	<1%
5	qdoc.tips Internet Source	<1%
6	Submitted to ECPI College of Technology Student Paper	<1%
7	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1%
8	www.scribd.com Internet Source	<1%
9	Submitted to Cranfield University Student Paper	<1%

10	vdocuments.site Internet Source	<1 %
11	herbycalvinpascal.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
12	docplayer.es Internet Source	<1 %
13	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
14	Submitted to Shanghai World Foreign Language Middle School Student Paper	<1 %
15	Alexa Sabine Bartelmus. "Fragmente einer grossen Sprache", Walter de Gruyter GmbH, 2016 Publication	<1 %
16	mafiadoc.com Internet Source	<1 %
17	core.ac.uk Internet Source	<1 %
18	docplayer.info Internet Source	<1 %
19	Ahmed Abd El aal. "Effect of Fiber Stripes of COVID-19 Healthy Personal Materials On Durability, And Physicomechanical Characteristic of Concrete For Decorative	<1 %

Landscape Pavements And Artificial Rocks", Research Square Platform LLC, 2021

Publication

20

baixardoc.com

Internet Source

<1 %

21

Réz, István (Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Obermeier, Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Huhn, Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Groß and TU Bergakademie Freiberg, Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik). "Numerische Untersuchung des luftseitigen Wärmeübergangs und Druckverlustes in Lamellenrohr-Wärmeübertragern mit verschiedenen Rohrformen", Technische Universitaet Bergakademie Freiberg Universitaetsbibliothek "Georgius Agricola";, 2009.

Publication

<1 %

22

www.nretas.nt.gov.au

Internet Source

<1 %

23

konstruksi212.blogspot.com

Internet Source

<1 %

24

repository.its.ac.id

Internet Source

<1 %

25

www.informaworld.com

Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97

PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123

PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136

PAGE 137

PAGE 138

PAGE 139

PAGE 140

PAGE 141

PAGE 142

PAGE 143

PAGE 144

PAGE 145

PAGE 146

PAGE 147

PAGE 148

PAGE 149

PAGE 150

PAGE 151

PAGE 152

PAGE 153

PAGE 154

PAGE 155

PAGE 156

PAGE 157

PAGE 158

PAGE 159

PAGE 160

PAGE 161

PAGE 162

PAGE 163

PAGE 164

PAGE 165

PAGE 166

PAGE 167

PAGE 168

PAGE 169

PAGE 170

PAGE 171

PAGE 172

PAGE 173

PAGE 174

PAGE 175

PAGE 176

PAGE 177

PAGE 178

PAGE 179

PAGE 180

PAGE 181

PAGE 182

PAGE 183

PAGE 184

PAGE 185

PAGE 186

PAGE 187

PAGE 188

PAGE 189

PAGE 190

PAGE 191

PAGE 192

PAGE 193

PAGE 194

PAGE 195

PAGE 196

PAGE 197

PAGE 198

PAGE 199

PAGE 200

PAGE 201

PAGE 202

PAGE 203

PAGE 204

PAGE 205

PAGE 206

PAGE 207

PAGE 208

PAGE 209

PAGE 210

PAGE 211

PAGE 212

PAGE 213

PAGE 214

PAGE 215

PAGE 216

PAGE 217

PAGE 218

PAGE 219

PAGE 220

PAGE 221

PAGE 222

PAGE 223

PAGE 224

PAGE 225

PAGE 226

PAGE 227

PAGE 228

PAGE 229

PAGE 230

PAGE 231

PAGE 232

PAGE 233

PAGE 234

PAGE 235

PAGE 236

PAGE 237

PAGE 238

PAGE 239

PAGE 240

PAGE 241

PAGE 242

PAGE 243

PAGE 244

PAGE 245

PAGE 246

PAGE 247

PAGE 248

PAGE 249

PAGE 250

PAGE 251

PAGE 252

PAGE 253

PAGE 254

PAGE 255

PAGE 256

PAGE 257

PAGE 258

PAGE 259

PAGE 260

PAGE 261

PAGE 262

PAGE 263

PAGE 264

PAGE 265

PAGE 266

PAGE 267

PAGE 268

PAGE 269

PAGE 270

PAGE 271

PAGE 272

PAGE 273

PAGE 274

PAGE 275

PAGE 276

PAGE 277

PAGE 278

PAGE 279

PAGE 280

PAGE 281

PAGE 282

PAGE 283

PAGE 284

PAGE 285

PAGE 286

PAGE 287

PAGE 288

PAGE 289

PAGE 290

PAGE 291

PAGE 292

PAGE 293

PAGE 294

PAGE 295
