

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Ganda

Sistem Ganda adalah salah satu teknik penanganan struktur bangunan yang dapat menahan beban gempa (Happy, 2018). Sistem Ganda merupakan suatu sistem struktur dengan rangka ruang lengkap untuk memikul beban gravitasi, sedangkan tahanan terhadap gempa disediakan oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan dinding geser atau oleh kombinasi sistem rangka pemikul momen dan rangka bresing. Menurut SNI 1726:2019 Sistem Ganda dengan rangka pemikul momen khusus harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan. Sistem ganda terdiri dari: 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen, rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi /sistem ganda (SNI 1726, 2002).

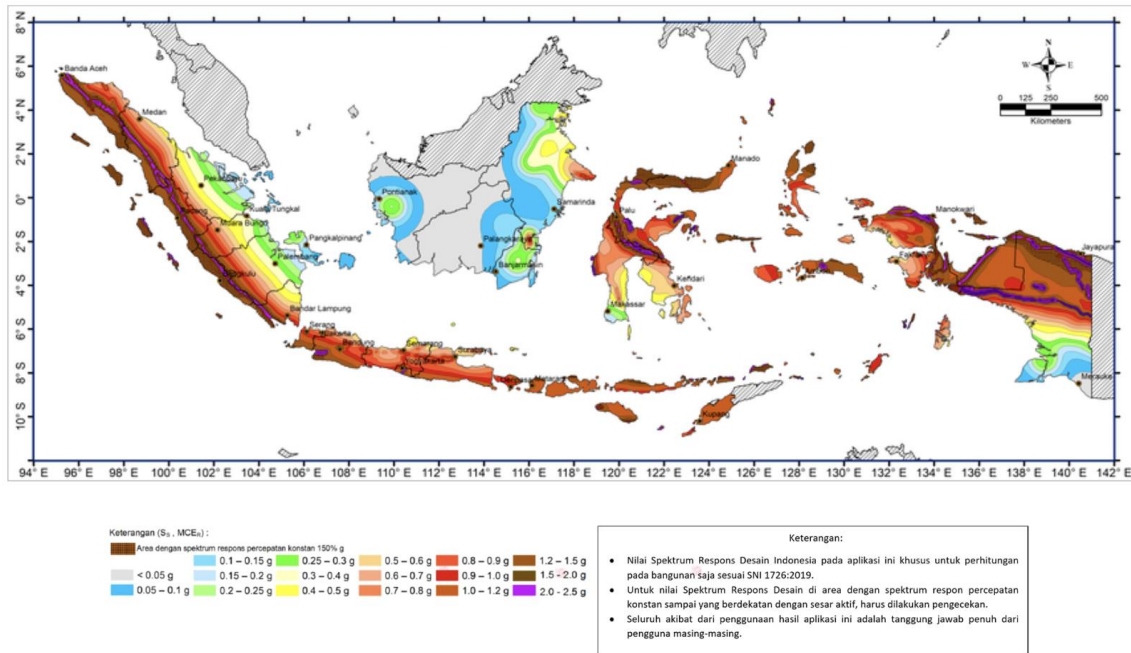
Dinding Struktur dirancang sedemikian rupa, sehingga memiliki kekakuan yang baik dalam mengurangi simpangan antar lantai akibat getaran gempa. Salah satu bentuk Dinding Struktur adalah Dinding Geser (*Shearwall*). Dinding Geser (*Shearwall*) adalah dinding yang mempunyai fungsi menahan beban lateral dan sebagai pengaku serta meneruskan beban sampai ke pondasi (Medriosa, 2018). Gedung yang diperkaku dengan Dinding Struktur dianggap lebih efektif daripada gedung dengan rangka kaku, dengan mempertimbangkan pembatasan kehancuran, keamanan secara keseluruhan, dan kehandalan struktur (Wemphy, 2015).

Komponen Struktur Portal (Balok-Kolom) dan Dinding Geser (*Shearwall*) merupakan satu kesatuan struktur, keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama. Hal yang menjadi perhatian pada saat perencanaan menggunakan Sistem Ganda adalah penempatan Dinding Geser (*Shearwall*). Dinding Geser (*Shearwall*) harus ditempatkan sedemikian rupa agar mendapatkan eksentrisitas terkecil.

2.2 Wilayah Gempa

Wilayah Gempa di Indonesia dikategorikan berdasarkan tingkat koefisien gempa pada suatu daerah yang tercantum di dalam Peta Wilayah Gempa Indonesia. Perbedaan tingkat

koefisien gempa disetiap daerah dapat diketahui dari warna daerah yang tercantum di dalam Peta Wilayah Gempa. Pada perencanaan Gedung Apartemen ini menggunakan Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dirilis pada tahun 2021 oleh Direktorat Jendral Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Indonesia.



Gambar 2.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia
 Sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id

Pada Gambar 2.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia dapat dilihat pada gambar bahwa daerah-daerah di Indonesia telah dibagi menurut parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek berdasarkan warna yang ada. Kota Surabaya memiliki nilai respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek sebesar 0,64 g. Nilai tersebut dapat dikategorikan dalam 0,6 – 0,7 g berwarna merah muda.

2.3 Gempa Resiko Tinggi

Daerah-daerah di Indonesia memiliki klasifikasi terhadap resiko gempa yang terjadi. Resiko gempa dikategorikan berdasarkan nilai respon spektra yang dialami antar setiap daerah tergantung dari jenis tanah dan batuan yang menyusun daerah tersebut. Pada daerah dengan resiko gempa tinggi, apabila terjadi gempa maka kekuatan getar gempa yang sampai pada permukaan dapat menyebabkan kerusakan struktur. Oleh sebab itu, perlunya perencanaan gedung tahan gempa pada daerah dengan resiko gempa tinggi.

2.3.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi Situs digunakan untuk menentukan kelas situs berdasarkan identifikasi kondisi tanah di lapangan. Tabel Klasifikasi Situs dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 5.3, Tabel 5

2.3.2 Respon Spektral

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik.

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Tabel 2.2 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2, Tabel 6

CATATAN: SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2, Tabel 7

CATATAN: SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.2 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

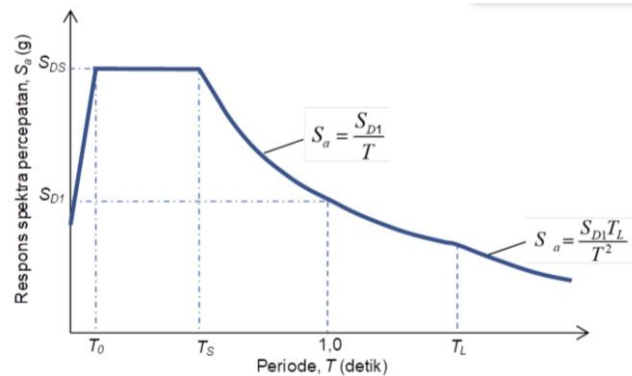
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.4, Gambar 3

2.4 Konsep Desain

Syarat desain dalam merencanakan sebuah struktur gedung tahan gempa sesuai dengan peraturan adalah sebagai berikut:

a. Mutu Bahan

Kuat tekan beton (f_c') sesuai dengan pasal 19.2.1 SNI 2847:2019 tentang persyaratan kekuatan tekan untuk sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus untuk jenis beton dengan berat normal memiliki nilai kuat tekan beton (f_c') minimum 21 MPa dan maksimum tidak ada batasan. Untuk jenis beton dengan berat ringan memiliki nilai kuat tekan beton (f_c') minimum adalah 21 MPa dan maksimum 35 MPa.

Tegangan leleh baja (f_y) sesuai dengan pasal 20 SNI 2847:2019 tentang property baja tulangan, durabilitas, dan penanaman mutu tulangan yang digunakan untuk perencanaan struktur gedung ini adalah 420 MPa.

b. Pembebanan

Pembebanan dalam merencanakan struktur Gedung tahan gempa harus sesuai dengan SNI 2847:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2019 tentang Persyaratan Beton

Struktural untuk Bangunan Gedung, dan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

c. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) dalam perencanaan struktur gedung ini menggunakan kategori D sesuai dengan pasal 6.5 SNI 1726:2019 karena memiliki nilai S_{DS} sebesar 0,64 pada tanah lunak.

d. Syarat Umum Pendetailan

Syarat umum pendetailan untuk daerah dengan kategori desain seismic D, E, dan F dapat dilihat dalam SNI 1726:2019 dan pada SNI 2847:2019 yang merupakan pendetailan khusus untuk sistem penahan gempa.

e. Faktor Keutamaan

Faktor keutamaan menurut Tabel 3 SNI 1726:2019 untuk gedung ini adalah 1,0 karena termasuk dalam Kategori Risiko II dengan jenis pemanfaatan untuk gedung apartemen/ rumah susun.

f. Konfigurasi Struktur Gedung

Gedung tahan gempa harus beraturan (tonjolan di luar gedung utama tidak lebih dari 25%) yang diatur dalam SNI 1726:2019 dan Analisa gempa yang digunakan adalah Analisis Statik Ekuivalen yang diatur dalam SNI 1726:2019.

g. Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung ini adalah Sistem Ganda (*Dual System*) yang diatur dalam SNI 2847:2019.

h. Syarat Kekakuan Komponen Struktur

Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai. Struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan bahan dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen struktur. Modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan baham. Sehingga semakin kuat bahan, maka akan semakin kaku bahan tersebut.

i. Pengaruh Arah Pembebanan Gempa

Pengaruh arah pembebanan gempa dalam arah utama (kritis) harus dianggap 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

j. Integritas Struktur

- Balok

Balok diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.

- Kolom

Kolom diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.

- Hubungan Balok Kolom (HBK)

Syarat pendetailan Hubungan Balok Kolom (HBK) diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8.

- Dinding Struktur (DS)

Dinding Struktur (DS) diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.10.

2.5 Perencanaan Beban Gempa

Struktur gedung yang direncanakan pada daerah dengan gempa resiko tinggi harus sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan gedung. Untuk perhitungan perencanaan beban gempa diperlukan nilai parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}), parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}), Kategori Desain Seismik (KDS), dan klasifikasi situs tanah.

2.5.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 2.5. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara	I

<ul style="list-style-type: none"> - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh</p>	III

instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 4.1.2, Tabel 3

Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 4.1.2, Tabel 4

2.5.2 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.6 saja, di mana berlaku semua ketentuan di bawah:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan 0 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan 0;
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s ;
3. Persamaan (31) digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s ;
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 0 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan desain pada pasal 0, kategori desain seismik diperbolehkan untuk ditentukan dari Tabel 2.6, dengan menggunakan nilai S_{DS} yang ditentukan dalam 0.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C

$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.5, Tabel 8

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.5, Tabel 9

2.6 Pembebanan

Pembebanan merupakan faktor paling penting dalam merencanakan sebuah struktur bangunan. Pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur ini mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Pembebanan pada struktur sebagai berikut:

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat total seluruh bagian gedung yang bersifat tetap. Beban mati terdiri atas berat dinding, lantai, atap, plafon, balok, kolom, perpipaan, peralatan kelistrikan, komponen arsitektural, dan peralatan tetap yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang diakibatkan oleh kegiatan penghunian atau penggunaan suatu gedung yang tidak termasuk ke dalam beban konstruksi dan beban lingkungan. Contoh yang termasuk beban hidup adalah seperti beban angin, beban hujan, beban banjir.

3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh aktivitas tektonik maupun aktivitas vulkanik. Beban gempa yang terjadi pada gedung akan dihitung sebagai beban static ekuivalen. Hal ini bermaksud

untuk menirukan pengaruh pergerakan tanah akibat gempa yang nantinya akan didistribusikan ke seluruh bagian gedung.

2.6.1 Kombinasi Pembebanan

Struktur bangunan gedung dan nongedung harus didesain menggunakan kombinasi pembebanan. Sistem fondasi, baik untuk bangunan gedung dan nongedung, tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur yang ditumpunya, sehingga kombinasi pembebanan yang mempertimbangkan faktor kuat lebih harus diaplikasikan dalam desain sistem fondasi.

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1 adalah:

1. $1,4D$ (2.8)

2. $1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2.9)

3. $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$ (2.10)

4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$ (2.11)

5. $0,9D + 1,0W$ (2.12)

Pengecualian:

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tak tereduksi (L_o) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan 4,78 kN/m², kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

2.7 Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Sistem perencanaan struktur gedung tahan gempa untuk struktur atas dan struktur bawah harus sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.1 tentang struktur atas dan struktur bawah Gedung. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur basemen, dan/atau struktur fondasinya. Adapun ketentuan-ketentuannya adalah sebagai berikut:

1. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem pemikul gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi

yang cukup untuk menahan gerak tanah seismik desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan perlu. Seperti yang disyaratkan pada pasal 7.1.1 tentang persyaratan dasar.

2. Komponen struktur individu, termasuk yang bukan merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik, harus disediakan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan geser, gaya aksial, dan momen yang ditentukan sesuai dengan standar ini, dan sambungan-sambungan harus mampu mengembangkan kekuatan komponen struktur yang disambung. Seperti yang disyaratkan pada pasal 7.1.2 tentang desain komponen struktur, desain sambungan, dan batasan deformasi.
3. Lintasan atau lintasan-lintasan beban yang menerus dengan kekuatan dan kekakuan yang memadai harus disediakan untuk mentransfer semua gaya dari titik pembebanan hingga titik tahanan akhir. Semua bagian struktur antara sambungan pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem pemikul gaya seismik. Seperti yang disyaratkan pada pasal 7.1.3 tentang lintasan beban dan keterhubungan yang menerus.
4. Sambungan positif untuk menahan gaya horizontal yang bekerja paralel terhadap komponen struktur harus disediakan untuk setiap balok, girder, atau rangka batang, baik secara langsung ke elemen tumpuannya, atau ke pelat yang didesain sebagai diafragma. Seperti yang disyaratkan pada pasal 7.1.4 tentang sambungan ke tumpuan.
5. Fondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur dan fondasi oleh gerak tanah seismik desain. Sistem fondasi tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur atas. Seperti yang disyaratkan pada pasal 7.1.5 tentang desain fondasi.
6. Elemen struktur termasuk elemen fondasi harus memenuhi persyaratan desain dan pendetailan material yang disyaratkan pada pasal 7.1.6 tentang persyaratan desain dan pendetailan material.

2.8 Pemilihan Sistem Struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.8, kecuali apabila sistem struktur tersebut termasuk dalam 0. Masing-masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur, h_n , yang ditunjukkan pada Tabel 2.8. Koefisien modifikasi respons, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , yang

sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.8 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut sebagaimana ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 2.8. Persyaratan dalam bagian ini mengizinkan penggunaan prosedur alternatif untuk desain struktur individual yang menunjukkan kinerja yang dapat diterima.

Penggunaan sistem pemikul gaya seismik yang tidak termasuk pada Tabel 2.8 dapat diizinkan apabila memenuhi syarat sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.2.1.1 tentang sistem struktur alternatif. Untuk elemen sistem pemikul gaya seismik, termasuk komponen struktur dan sambungannya, harus memenuhi persyaratan pendetailan pada Tabel 2.8 untuk sistem struktur yang dipilih.

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.8.

Perhitungan Gaya Seismik Lateral (F_i) menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3 harus ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah ini.

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i^k}{\sum W \cdot Z^k} \cdot V \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

W_i = Beban pada lantai ke- i

Z_i = Ketinggian pada lantai ke- i

V = Gaya Geser Dasar Seismik

k = Eksponen yang terkait dengan Periode Struktur

Karena $0,5 < T < 2,5$ detik, maka nilai k ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Tabel 2.8 Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0^b	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^c	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.2.2, Tabel 12

CATATAN

^a Koefisien modifikasi respons, R, untuk penggunaan pada keseluruhan standar. Nilai R mereduksi gaya ke level kekuatan bukan pada level tegangan izin.

^b Jika nilai pada tabel faktor kuat lebih, Ω_0 , lebih besar atau sama dengan 2,5, maka Ω_0 diizinkan untuk direduksi setengah untuk struktur dengan diafragma fleksibel.

^c Faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , untuk penggunaan dalam 7.8.6, 7.8.7, dan 7.9.2 SNI 1726:2012

^d TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

^e Lihat 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.

^f Lihat 7.2.5.4 untuk sistem pemikul gaya seismik yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

^g Dinding geser didefinisikan sebagai dinding struktural.

^h Definisi “Dinding Struktural Khusus”, termasuk konstruksi pracetak dan cor di tempat.

2.9 Prosedur Analisis

Analisis struktur yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019 harus terdiri dari salah satu tipe yang diizinkan dalam Tabel 2.9, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamik, dan keteraturan, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diizinkan untuk digunakan dengan persetujuan pihak berwenang. Prosedur analisis yang dipilih harus dilengkapi sesuai dengan persyaratan dari pasal yang terkait yang dirujuk dalam Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber: 1726:2019, Pasal 7.7.2, Tabel 16

2.9.1 Analisis Gaya Gempa Lateral Ekuivalen

Analisis gaya gempa lateral ekuivalen ini disebut juga sebagai analisa manual. Perhitungan gempa menggunakan analisis gaya gempa lateral ekuivalen dilakukan secara

manual dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada pada peraturan tentang perhitungan gaya gempa.

2.9.2 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.10 dan periode fundamental pendekatan, T_a . Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a .

Tabel 2.10 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.8.2, Tabel 17

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik: <ul style="list-style-type: none"> • Rangka baja pemikul momen 	0,0724	0,8

• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.8.2.1, Tabel 18

Tujuan dari adanya pembatasan periode fundamental dari suatu struktur gedung adalah untuk:

1. Mencegah pengaruh P-Delta berlebih.
2. Mencegah simpangan antar tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama.
3. Mencegah simpangan antar tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa maksimum.
4. Mencegah kekuatan struktur yang terpasang terlalu rendah.

2.9.3 Distribusi Gaya Gempa

Perhitungan distribusi gaya gempa dilakukan setelah perhitungan periode fundamental pendekatan dari struktur gedung tersebut. Perhitungan distribusi gaya gempa didasarkan pada beban geser seismik yang dibagi sepanjang tinggi struktur gedung.

$$V = C_s W \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

2.9.4 Simpangan Horizontal Struktur

Simpangan horizontal pada struktur bangunan gedung disebabkan oleh adanya gaya gempa yang bekerja disepanjang tinggi bangunan. Besarnya nilai simpangan horizontal perlu dihitung untuk menentukan periode alami fundamental struktur.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran Simpangan Lateral

δ_{xe} = Simpangan di tingkat x, yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e = Faktor keutamaan gempa

2.9.5 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur bangunan nongedung harus ditentukan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi dari elemen pemikul dalam analisis yang dapat dipertanggungjawabkan. Sebagai alternatif, periode fundamental, T diizinkan untuk dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

f_i = beban gempa nominal static ekuivalen

δ_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke-i

n = nomor lantai tingkat paling atas

2.9.6 Batasan Simpangan Antar Tingkat

Untuk mencegah benturan berbahaya dalam gedung serta untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung, maka diperhitungkan simpangan antar lantai struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan. Simpangan antar tingkat desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

Tabel 2.12 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.12.1, Tabel 20

CATATAN

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

^b Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

2.10 Penetapan Kategori Desain Seismik (KDS) Struktur

Pada SNI 2847:2019 pasal 4.4.6.1 disebutkan bahwa setiap struktur harus termasuk dalam salah satu Kategori Desain Seismik yang ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) dapat dilihat dalam tabel 2.6 dan 2.7 pada sub-bab 2.4.2 Kategori Desain Seismik.

2.10.1 Beton dan Tulangan pada Rangka Momen Khusus dan Dinding Struktur Khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 tulangan ulir yang digunakan sebagai elemen baja daktail untuk menahan pengaruh gempa harus dibatasi oleh ASTM A615M mutu 280 dan 420 yang memenuhi persyaratan 20.2.2.5(b) atau ASTM A706M mutu 420. Pada daerah dengan gempa tinggi untuk merencanakan sistem ganda, kekuatan tekan beton tidak boleh kurang dari 20 MPa. Pada pasal 18.10.1.1 disebutkan bahwa ketentuan tersebut berlaku untuk dinding struktural khusus, dan semua komponennya termasuk balok kopel dan pilar dinding yang merupakan sistem pemikul gaya seismik.

Pasal 22.2.2.4.3 SNI 2847:2019 disebutkan bahwa untuk nilai b_1 dinyatakan dalam tabel 2.13 di bawah ini.

Tabel 2.13 Nilai b_1 untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen

f_c', MPa	b_1
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
$f_c' \geq 55$	0,65

Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 22.2.2.4.3, Tabel 22.2.2.4.3

2.11 Komponen Struktur Sekunder

Komponen struktur sekunder terdiri atas struktur yang tidak ikut memperkaku maupun memperkuat struktur primer. Komponen struktur sekunder terdiri atas pelat atap atau lantai dan tangga. Lendutan atau tegangan yang terjadi pada struktur ini diakibatkan dari beban atau perubahan dari struktur primer, karena struktur sekunder tidak ikut menahan beban secara keseluruhan.

2.11.1 Pelat

Pelat terdiri dari 2 jenis, yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*). Pelat di desain hanya untuk mampu menahan beban lentur saja. Pelat satu arah (*one way slab*) adalah pelat yang memiliki perbandingan antara rasio panjang dan lebarnya lebih dari 2,5. Sedangkan pelat dua arah (*two way slab*). adalah pelat yang memiliki rasio panjang

dan lebar kurang dari 2,5. Pada perhitungan pembebanan pelat, beban pelat sendiri dipikul oleh ke-empat balok yang ada di sekitar pelat.

Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

(a) Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan pasal 9.5.3.2 SNI 2847:2019;

(b) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots (2.19)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

(c) Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2.20)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

(d) Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (b) atau

(c) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Keterangan:

h = tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur

l_n = Panjang bentang bersih yang diukur antar muka tumpuan

f_y = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek dari pelat dua arah

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

α_f = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur lebat pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

E_{cb} = modulus elastisitas beton balok

I_b = momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat

E_{cs} = modulus elastisitas beton slab

I_s = momen inersia penampang bruto slab terhadap sumbu pusat yang ditentukan

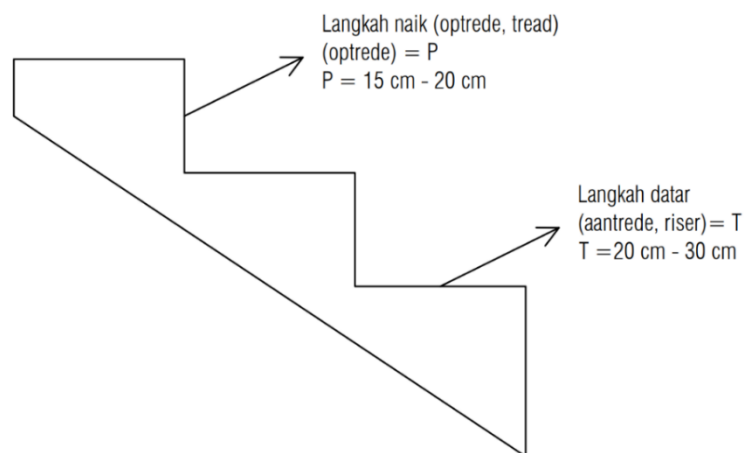
untuk menghitung α_f dan β_t

Perencanaan gedung ini, pelat lantai dan pelat atap akan didesain sebagai pelat dua arah (*two way slab*), karena pelat ditumpu pada ke-empat sisinya. Sehingga lentur yang terjadi ditopang pada ke-dua arah.

2.11.2 Tangga

Tangga merupakan salah satu bagian supplement dari bangunan yang berfungsi sebagai penghubung antar lantai pada bangunan bertingkat. Kenyamanan sebuah tangga harus memenuhi syarat-syarat teknis, sebagai berikut:

1. Panjang pijakan datar (riser atau aantrede) berkisar antara 20 cm sampai dengan 30 cm, supaya langkahnya sesuai.
2. Tinggi pijakan (optrede) berkisar antara 15 cm sampai dengan 20 cm, supaya tidak terlalu tinggi mengangkat kaki terutama bagi anak-anak dan orang tua.
3. Sudut kemiringan tangga berkisar 25 - 40 derajat, jika terlalu curam dapat mengganggu kenyamanan pengguna, seperti cepat lelah saat menaiki lantai berikutnya.



Gambar 2.3 Syarat Teknis Perencanaan Tangga

Supaya berjalan dengan nyaman, maka harus dipenuhi syarat dua langkah ditambah panjang kaki rata = $2T + P$ antara 58 cm sampai dengan 63 cm. Dalam pengukuran tersebut dapat didasarkan pada ukuran sebenarnya dari kaki dan langkah orang yang menggunakan. Selama perencanaan dilakukan harus diperhatikan bahwa jika, terlalu curam untuk dinaiki sekaligus, maka kita dapat mengimbangi dengan menyediakan bordes (lantai istirahat).

2.11.3 Balok Anak

Komponen balok anak adalah komponen yang berguna mencegah lendutan pada pelat yang diakibatkan oleh luasan pelat yang terlalu besar. Meskipun berukuran lebih kecil daripada balok induk, penggunaan komponen ini sangat vital, khususnya untuk mendukung bentar kerja optimal dari pelat lantai. Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak dan semua beban pada pelat. Distribusi beban pada balok pendukung dapat dianggap sebagai beban segitiga pada jalur pendek serta beban trapesium pada lajur panjang.

Untuk memudahkan perhitungan, beban trapesium dan beban segitiga diubah menjadi beban merata ekuivalen (q_c), sebagai berikut:

Ø Beban trapesium diubah menjadi beban merata ekuivalen,

$$q_{ek} = \frac{1}{2} q \cdot \left(\frac{l_x}{l_y^2} \right) \cdot (l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2) \dots\dots\dots (2.22)$$

Ø Beban segitiga diubah menjadi beban merata ekuivalen,

$$q_e = \frac{1}{3} q \cdot l_x \dots\dots\dots (2.23)$$

Catatan: l_x dan l_y adalah panjang bentang untuk segmen pelat

2.11.4 Balok Penggantung Lift

Lift adalah angkutan transportasi vertikal yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang. Pengaturan tata lift dapat dilihat dari setiap zona lift dapat melayani 10 – 15 lantai, dan pada zona ke 4 merupakan batas maksimum. Jika memerlukan zona lift lebih dari empat, maka harus menggunakan *sky lobby* (minimum dua lantai). Perencanaan yang dilakukan meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin penggantung lift.

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu.

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat beban bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejutan beban oleh keran.

Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau.

2.12 Komponen Struktur Primer

Komponen struktur primer terdiri atas balok, kolom, dan dinding struktur. Komponen struktur primer memiliki peran penting dalam memikul beban-beban yang terjadi, seperti beban gempa, beban angin, beban air hujan, dan beban akibat berat sendiri gedung. Struktur primer harus didesain dengan baik agar kemungkinan terjadinya keruntuhan bangunan akibat beban-beban yang bekerja dapat diperkecil dan apabila terjadi keruntuhan, penghuni gedung memiliki cukup waktu untuk menyelamatkan diri sebelum gedung benar-benar hancur.

Metode Sistem Ganda (*Dual System*) terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktur (DS), maka pada sub-bab ini akan diuraikan syarat-syarat, pendetailan, dan ketentuan-ketentuan dalam merencanakan struktur dengan menggunakan metode Sistem Ganda (*Dual System*).

2.11.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem rangka yang strukturnya membentuk portal, yang terdiri dari balok dan kolom. Dalam mendesain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk sebuah gedung, digunakan Konsep Desain Kapasitas (*Capacity Design*). Konsep Desain Kapasitas (*Capacity Design*) dilakukan dengan cara meningkatkan daktilitas elemen-elemen struktur dan perlindungan elemen-elemen struktur lain yang diharapkan nantinya dapat berperilaku elastik pada saat diberikan beban atau gaya.

Salah satu cara untuk mendukung terjadinya hal tersebut adalah dengan Konsep *Strong Column Weak Beam*. Konsep *Strong Column Weak Beam* adalah kolom didesain lebih kuat dari pada balok. Tujuan dari Konsep *Strong Column Weak Beam* adalah agar ketika terjadi keruntuhan struktur gedung tidak langsung runtuh, sehingga penghuni di dalamnya memiliki waktu yang cukup untuk menyelamatkan diri.

Untuk memudahkan dalam memahami dan melihat syarat-syarat, pendetailan, dan ketentuan-ketentuan yang berlaku, maka akan dibuatkan ringkasan dalam bentuk tabel seperti di bawah ini.

A. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Persyaratan untuk Komponen SRPMK yang dikenai Beban Lentur didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.6. Untuk SRPMK yang membentuk sistem gaya gempa yang

diproporsikan untuk menahan lentur adalah komponen balok. Persyaratan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.14 tentang Persyaratan Komponen Lentur.

Kekuatan geser diatur di dalam pasal 18.6.5 SNI 2847:2019, yang terbagi dalam Gaya Desain pada pasal 18.6.5.1 dan Tulangan Transversal pada pasal 18.6.5.2.

Gaya geser desain V_e harus dihitung dari tinjauan gaya-gaya pada bagian balok di antara kedua muka joint. Momen-momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , harus diasumsikan bekerja pada muka-muka joint dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.

Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam Tabel 2.14 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua a) dan b) terpenuhi:

- (a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai pasal 18.6.5.1 SNI 2847:2019 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- (b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 10$.

Tabel 2.14 Persyaratan Komponen Lentur

	Persyaratan
Umum	<p style="text-align: center;">Pasal 18.6.1</p> <p>Komponen lentur SRPMK harus memenuhi kondisi berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gaya Tekan Aksial $P_u < A_g f_c' / 10$ 2. Bentang bersih, ℓ_n, harus minimal $4d$ 3. Lebar penampang b_w, harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm 4. Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.

Tulangan Longitudinal	<p style="text-align: center;">Pasal 18.6.3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Batasan rasio tulangan $r < 0,025$ 2. Paling sedikit harus disediakan 2 tulangan menerus pada ke-dua sisi atas dan bawah. 3. Jumlah tulangan tidak boleh kurang dari: $A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \dots\dots\dots (2.24)$ 4. Tetapi tidak boleh kurang dari: $\frac{1,4b_w d}{f_y} \dots\dots\dots (2.25)$ 5. Momen positif pada muka joint $\geq \frac{1}{2}$ momen negatif pada Joint. 6. Momen negatif atau positif $\geq \frac{1}{4}$ momen maksimum pada joint.
Sambungan Lewatan	<p style="text-align: center;">Pasal 18.6.3.3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sambungan lewatan tulangan lentur diijinkan jika Sengkang disediakan disepanjang panjang sambungan. 2. Spasi tulangan transversal pada sambungan lewatan $< d/4$ atau < 100 mm (tidak boleh melebihi yang lebih kecil). 3. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan: <ol style="list-style-type: none"> a. Dalam joint Hubungan Balok Kolom (HBK) b. Dalam jarak $2d$, tinggi komponen struktur dari muka joint. c. Bila menunjukkan pelelehan lentur akibat perpindahan lateral inelastis.

Tulangan Transversal	<p>Pasal 18.6.4</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sengkang harus dipasang pada: <ol style="list-style-type: none"> a. 2x tinggi komponen struktur dari muka penumpu ke arah tengah bentang, di ke-dua ujung komponen struktur lentur. b. 2x tinggi komponen struktur pada kedua sisi penampang, dimana pelelehan lentur terjadi dalam hubungan akibat perpindahan inelastis rangka. 2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan ≤ 50 mm dari muka penumpu. 3. Spasi Sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari: <ol style="list-style-type: none"> a. $d/4$ b. $6d$, diameter terkecil tulangan lentur utama c. 150 4. Bila Sengkang tertutup diperlukan, maka spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara transversal ≤ 350 mm. 5. Bila Sengkang tertutup tidak diperlukan, Sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasi dengan jarak $\leq d/2$. 6. Sengkang yang diperlukan untuk menahan geser harus berupa Sengkang sepanjang panjang komponen struktur seperti dalam poin 1. <p>Sengkang pada komponen struktur lentur diijinkan terbentuk dari dua potong tulangan, yaitu: sebuah Sengkang yang mempunyai kait gempu pada ke-dua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90° pada sisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Jika batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikekang oleh slab hanya pada satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90° harus ditempatkan pada sisi tersebut.</p>

B. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Persyaratan untuk Komponen SRPMK yang dikenai Beban Lentur dan Aksial didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.7. Untuk SRPMK yang membentuk sistem gaya gempu yang diproporsikan untuk menahan lentur dan aksial adalah komponen kolom. Persyaratan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.15 tentang Persyaratan Komponen Lentur.

Kekuatan geser diatur di dalam pasal 18.7.6 SNI 2847:2019, yang terbagi dalam Gaya Desain pada pasal 18.7.6.1 dan Tulangan Transversal pada pasal 18.7.6.2.

Gaya geser desain V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka joint pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan M_{pr} balok yang merangka ke joint. Nilai V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.

Pada lokasi di atas lantai dasar, momen pada joint dibatasi oleh kekuatan lentur balok yang merangka pada joint. Apabila balok-balok yang merangka pada sisi yang saling berlawanan dari joint, kekuatan kombinasi adalah penjumlahan kekuatan momen negatif pada satu sisi joint dan kekuatan momen positif pada sisi joint lainnya. Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$. Distribusi kombinasi kekuatan momen pada balok ke kolom di atas dan di bawah joint harus berdasarkan analisis.

Tulangan transversal sepanjang ℓ_o berdasarkan 18.7.5.1, harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bila a) dan b) terjadi:

- a) Gaya geser akibat gempa berdasarkan pasal 18.7.6.1 SNI 2847:2019 setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang ℓ_o .
- b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$.

Tabel 2.15 Persyaratan Komponen Lentur dan Aksial

	Persyaratan
	Pasal 18.7.2
Umum	1. Beban aksial tekan berfaktor, $P_u > \frac{A_g f'_c}{10}$ (2.26) 2. Dimensi penampang terpendek > 300 mm 3. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak $> 0,4$

Kekuatan	<p style="text-align: center;">Pasal 18.7.3</p> <p>1. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan: $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.27)$ Keterangan: $\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint. $\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint.</p> <p>2. Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen-momen kolom berlawanan dengan momen-momen balok.</p> <p>3. Jika persyaratan di atas tidak dipenuhi dalam suatu joint, maka kekuatan lateral dan kekakuan kolom diabaikan.</p>
Tulangan Longitudinal	<p style="text-align: center;">Pasal 18.7.6</p> <p>1. Luas tulangan longitudinal, A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$.</p> <p>2. Sambungan mekanis harus memenuhi pasal 18.2.7 SNI 2847:2019 dan sambungan las harus memenuhi pasal 18.2.8 SNI 2847:2019.</p> <p>3. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilindungi tulangan transversal yang memenuhi 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.</p>
Tulangan Transversal	<p style="text-align: center;">Pasal 18.7.5</p> <p>1. Tulangan transversal yang disyaratkan pada pasal 18.7.5.2 hingga pasal 18.7.5.4 SNI 2847:2019 harus dipasang sepanjang ℓ_o dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik.</p> <p>2. Panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) hingga c):</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi. b) Seperenam tinggi bersih kolom c) 450 mm

3. Tulangan transversal harus sesuai a) hingga f):
- a) Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (overlap), sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi dengan atau tanpa ikat silang.
 - b) Setiap tekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
 - c) Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekang diizinkan sesuai batasan pada pasal 25.7.2.2 SNI 2847:2019. Ikat silang yang berurutan harus diselang-seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
 - d) Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal sesuai pasal 25.7.2.2 dan pasal 25.7.2.3 SNI 2847:2019.
 - e) Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi h_x antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.
 - f) Ketika $P_u > 0,3A_g f_c'$ atau $f_c' > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang ataupun oleh kait gempa, dan nilai h_x tidak boleh lebih dari 200 mm. P_u harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk E.
4. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari (a) hingga (c):
- a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
 - b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - c) s_o , yang dihitung dengan

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$$

..... (2.28)
5. Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

6. Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019. Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengeangan k_n dihitung berdasarkan persamaan:

$$k_f = \frac{f_c'}{175} + 0,6 \geq 1,0 \dots\dots\dots (2.29)$$

$$k_n = \frac{n_\ell}{n_\ell - 2} \dots\dots\dots (2.30)$$

dimana n_ℓ adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengegang atau kait seismik.

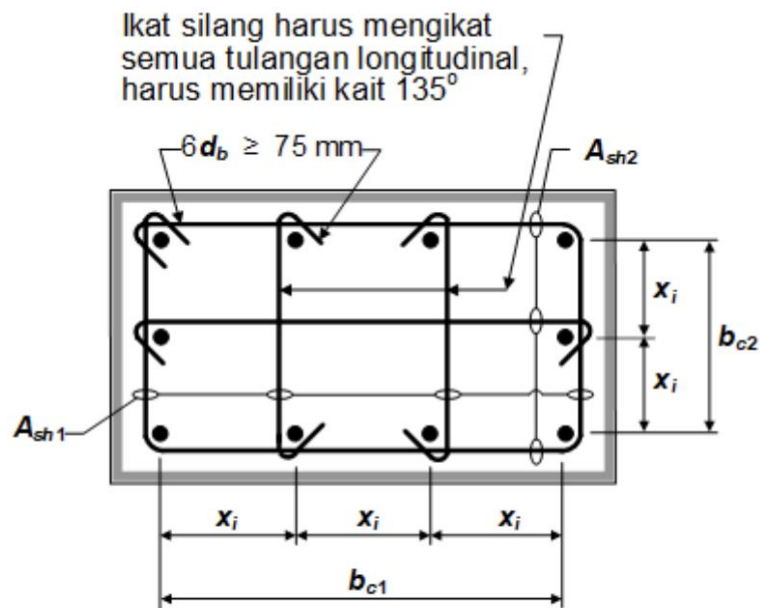
7. Di luar panjang ℓ_0 yang ditetapkan dalam pasal 18.7.5.1 SNI 2847:2019, kolom harus diberi tulangan spiral atau sengkang yang memenuhi pasal 25.7.2 hingga pasal 25.7.4 SNI 2847:2019 dengan spasi s tidak melebihi nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm, kecuali bila jumlah tulangan transversal yang lebih besar disyaratkan oleh pasal 18.7.4.3 atau pasal 18.7.6 SNI 2847:2019.

8. Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding, harus memenuhi a) dan b):

a) Tulangan transversal sesuai 18.7.5.2 hingga 18.7.5.4 harus disediakan sepanjang tinggi keseluruhan kolom pada semua tingkat di bawah lokasi diskontinuitas jika gaya tekan aksial terfaktor pada kolom-kolom ini akibat pengaruh gempa melebihi $A_g f_c' / 10$. Bilamana gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan faktor kekuatan lebih elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik, batasan $A_g f_c' / 10$ harus menjadi $A_g f_c' / 4$.

b) Ditingkatkan Tulangan transversal harus diteruskan ke dalam komponen struktur kaku tak menerus paling sedikit sejarak d batang tulangan longitudinal terbesar sesuai 18.8.5. Bilamana ujung bawah kolom yang ditinjau berhenti pada suatu dinding, tulangan transversal perlu harus diteruskan ke dalam dinding paling sedikit d batang tulangan longitudinal terbesar di titik pemutusan. Bilamana kolom tersebut berhenti pada sistem fondasi, tulangan transversal perlu harus diteruskan paling sedikit 300 mm ke dalam sistem fondasi.

	<p>9. Jika tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekok yang ditetapkan berdasarkan pasal 18.7.5.1, 18.7.5.5, dan 18.7.5.6 SNI 2847:2019 melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300.</p>
--	---



Dimensi x_i antara sumbu-sumbu penampang tulangan longitudinal yang ditopang secara lateral tidak melebihi 200 mm. Nilai h_x dalam Pers. (18.7.5.3) diambil sebagai nilai terbesar dari x_i .

Gambar 2.4 Tulangan Transversal pada Kolom

C. Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

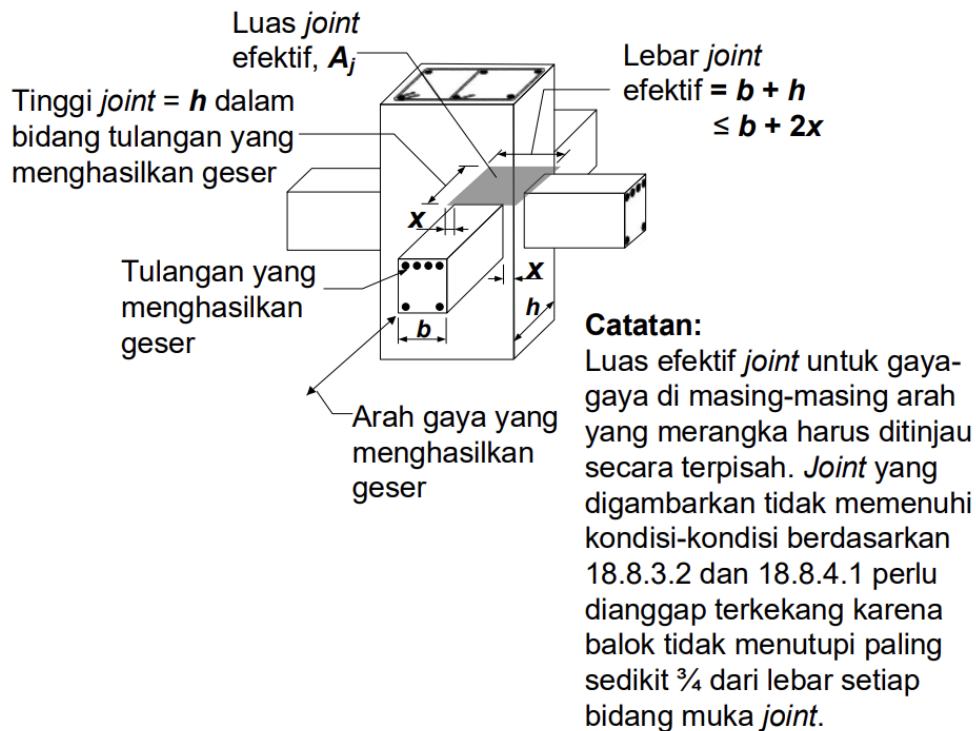
Persyaratan untuk Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.8. Pasal ini berlaku untuk joint balok-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Persyaratan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.16 tentang Persyaratan Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Tabel 2.16 Persyaratan Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

	Persyaratan
Umum	<p style="text-align: center;">Pasal 18.8.2</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$. 2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai pasal 18.8.5 dan dalam tekan sesuai pasal 25.4.9 SNI 2847:2019. 3. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (<i>normalweight</i>). Untuk beton ringan (<i>lightweight</i>), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan. 4. Tinggi joint h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada joint tersebut dan yang menyebabkan geser pada joint sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.
Tulangan Transversal	<p style="text-align: center;">Pasal 18.8.3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tulangan transversal joint harus memenuhi pasal 18.7.5.2, 18.7.5.3, 18.7.5.4, dan 18.7.5.7 SNI 2847:2019, kecuali sebagaimana yang diizinkan pada pasal 18.8.3.2 SNI 2847:2019. 2. Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangkap kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pasal 18.7.5.4 SNI 2847:2019 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pada pasal 18.7.5.3 SNI 2847:2019 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut. 3. Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pada pasal 18.7.5.4 SNI 2847:2019 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pada pasal 18.7.5.3 SNI 2847:2019 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.

	<p>4. Bila pada keempat sisi joint terdapat balok yang merangkap kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pada pasal 18.7.5.4 SNI 2847:2019 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang disyaratkan pada pasal 18.7.5.3 SNI 2847:2019 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok h yang terendah yang merangka pada joint tersebut.</p>
Kekuatan Geser	<p style="text-align: center;">Pasal 18.8.4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kekuatan geser V_n joint harus sesuai Tabel 18.8.4.1 SNI 2847:2019. 2. Pada Tabel 18.8.4.1 SNI 2847:2019, suatu muka joint dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif joint. Perpanjangan balok yang melewati muka joint setidaknya sama dengan tinggi balok h boleh dianggap memberikan kekangan pada muka joint tersebut. Perpanjangan balok tersebut harus memenuhi pasal 18.6.2.1 (b), 18.6.3.1, 18.6.4.2, 18.6.4.3, dan 18.6.4.4 SNI 2847:2019. 3. Luas penampang efektif dalam suatu joint, A_j, harus dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus sebesar lebar kolom, h. Lebar joint efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b): <ol style="list-style-type: none"> a) Lebar balok ditambah tinggi joint b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom. c) Luas joint efektif dapat dilihat pada gambar
Panjang Penyaluran Tulangan Tarik	<p style="text-align: center;">Pasal 18.8.5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran ℓ_{dh} harus dihitung berdasarkan persamaan pada pasal 18.8.5.1 SNI 2847:2019. Untuk beton normal, ℓ_{dh} yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm. $\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\lambda\sqrt{f_c'}} \dots\dots\dots (2.31)$

	<p>Nilai λ adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam joint.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Untuk tulangan berkepala yang memenuhi pasal 20.2.1.6 SNI 2847:2019, panjang penyaluran tarik harus sesuai pasal 25.4.4 SNI 2847:2019, kecuali spasi bersih antar tulangan diizinkan setidaknya $3d_b$. 3. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik ℓ_d untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara a) dan b): 4. 2,5 kali panjang sesuai pada pasal 18.8.5.1 SNI 2847:2019 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm. 5. 3,25 kali panjang sesuai pada pasal 18.8.5.1 SNI 2847:2019 bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm. Untuk tulangan berkepala yang memenuhi pasal 20.2.1.6 SNI 2847:2019, panjang penyaluran tarik harus sesuai pasal 25.4.4 SNI 2847:2019, kecuali spasi bersih antar tulangan diizinkan setidaknya $3d_b$. 6. Tulangan lurus yang berhenti pada joint harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian ℓ_d yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali. 7. Jika digunakan tulangan berlapis epoksi, maka panjang penyaluran berdasarkan pasal 18.8.5.1, 18.8.5.3, dan 18.8.5.4 SNI 2847:2019 harus dikalikan dengan faktor yang sesuai pada pasal 25.4.2.4 atau 25.4.3.2 SNI 2847:2019.
--	---



Gambar 2.5 Luas Joint Efektif

2.11.2 Dinding Struktural Khusus

Persyaratan untuk Dinding Struktural didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.10. Pasal ini berlaku untuk Dinding Struktural Khusus, dan semua komponennya termasuk balok kopel dan pilar dinding yang merupakan sistem pemikul gaya seismik. Dinding Struktural Khusus untuk beton pracetak harus memenuhi pasal 18.11 selain pasal 18.10 SNI 2847:2019. Persyaratan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.17 Persyaratan Dinding Struktural Khusus.

Tabel 2.17 Persyaratan Dinding Struktural Khusus

	Persyaratan
	Pasal 18.10.2
Tulangan	<p>1. Rasio tulangan badan (<i>web</i>) terdistribusi, ρ_ℓ dan ρ_t, pada dinding struktural tidak boleh kurang dari 0,0025, kecuali bila V_u tidak melebihi $0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, ρ_ℓ dan ρ_t diizinkan untuk direduksi sesuai pada pasal 11.6 SNI 2847:2019. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktural tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang memberi kontribusi pada V_n harus menerus dan harus didistribusikan sepanjang bidang geser.</p>

Tulangan	<p>2. Paling sedikit dua lapis tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika $V_u > 0,17A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$ atau $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dimana h_w dan ℓ_w merupakan tinggi dan panjang dari dinding secara keseluruhan.</p> <p>3. Tulangan dinding struktural harus dapat disalurkan atau disambung-lewatkan agar mampu mencapai kekuatan leleh tarik f_y sesuai pada pasal 25.4 dan 25.5 SNI 2847:2019, serta a) hingga c):</p> <p style="margin-left: 40px;">a) Tulangan longitudinal harus diteruskan sejauh minimal $0,8\ell_w$ di luar batas dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur, kecuali pada bagian atas dinding.</p> <p style="margin-left: 40px;">b) Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal mungkin terjadi akibat perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus dihitung untuk dapat mengembangkan $1,25f_y$ dalam kondisi tarik.</p> <p>4. Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi pasal 18.2.7 SNI 2847:2019 dan sambungan las tulangan harus memenuhi pasal 18.2.8 SNI 2847:2019.</p>
Gaya Desain	<p>Pasal 18.10.3</p>
	<p>1. Gaya desain, V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral dengan menggunakan kombinasi beban terfaktor.</p>
Kekuatan Geser	<p>Pasal 18.10.4</p>
	<p>1. V_n dinding struktural tidak boleh melebihi:</p> $V_n = A_{cv} \left(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \dots\dots\dots (2.32)$ <p>2. Dimana koefisien α_c adalah 0,25 untuk $h_w/\ell_w \leq 1,5$; 0,17 untuk $h_w/\ell_w \geq 2,0$, dan bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/ℓ_w antara 1,5 dan 2,0.</p> <p>3. Pada pasal 18.10.4.1 SNI 2847:2019, nilai rasio h_w/ℓ_w yang digunakan untuk menghitung V_n pada segmen-segmen dinding haruslah nilai terbesar dari rasio h_w/ℓ_w untuk dinding keseluruhan dan untuk segmen dinding yang ditinjau.</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 4. Dinding harus memiliki tulangan geser terdistribusi dalam dua arah ortogonal pada bidang dinding. Jika h_w/ℓ_w tidak melebihi 2,0, rasio tulangan ρ_ℓ tidak boleh kurang dari rasio tulangan ρ. 5. Untuk semua segmen vertikal dinding yang secara bersama menahan gaya lateral, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66 A_{cv}\sqrt{f'_c}$, dimana A_{cv} adalah luas bruto penampang dinding yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang. Untuk masing-masing segmen vertikal dinding individu, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f'_c}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang segmen vertikal dinding individu yang ditinjau. 6. Untuk segmen dinding horizontal dan balok kopel, V_n tidak boleh lebih besar dari $0,83A_{cw}\sqrt{f'_c}$, dimana A_{cw} adalah luas penampang beton segmen dinding horizontal atau balok kopel.
Desain untuk Beban Lentur dan Aksial	<p style="text-align: center;">Pasal 18.10.5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dinding struktural dan bagian-bagian dari dinding tersebut yang mengalami kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sesuai dengan pasal 22.4 SNI 2847:2019. Beton dan tulangan longitudinal yang terangkur dengan baik dalam lebar efektif sayap, elemen batas, dan badan dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus ditinjau. 2. Kecuali bila analisis yang lebih detail dilakukan, lebar efektif sayap harus diperlebar dari muka badan dinding yang ditinjau sejauh jarak yang sama dengan nilai terkecil dari setengah jarak antara badan dinding-dinding yang bersebelahan dan 25 persen tinggi total dinding.

Elemen Batas Dinding Struktural Khusus	<p style="text-align: center;">Pasal 18.10.6</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kebutuhan elemen batas khusus di tepi-tepi dinding struktural harus dievaluasi sesuai dengan pasal 18.10.6.2 atau 18.10.6.3 SNI 2847:2019. Persyaratan pada pasal 18.10.6.4 dan 18.10.6.5 SNI 2847:2019 juga harus dipenuhi. 2. Dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2,0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial harus memenuhi (a) dan (b) atau harus didesain sesuai 18.10.6.3 SNI 2847:2019. 3. Daerah tekan harus ditulangi dengan elemen batas khusus bila $c \geq \frac{\ell_w}{600\left(\frac{1,5\delta_u}{h_w}\right)} \dots\dots\dots (2.33)$ dan c sesuai nilai tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal, yang konsisten dengan arah perpindahan desain δ_u. Rasio δ_u/h_w harus ditetapkan tidak kurang dari 0,005. 4. Bila elemen batas khusus disyaratkan oleh (a), tulangan transversal elemen batas khusus harus diperpanjang pada arah vertikal, di atas dan di bawah penampang kritis dengan jarak minimal nilai terbesar dari ℓ_w dan $M_w/4V_u$, kecuali yang diizinkan berdasarkan 18.10.6.4(g) SNI 2847:2019. 5. Dinding-dinding struktural yang tidak didesain sesuai pasal 18.10.6.2 SNI 2847:2019 harus memiliki elemen-elemen batas khusus pada daerah batas dan daerah tepi-tepi sekeliling bukaan dari dinding-dinding struktural dimana tegangan tekan serat ekstrim maksimum, akibat kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa, E, melebihi $0,2f'_c$. Elemen batas khusus dapat dihentikan pada lokasi dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari $0,15f'_c$. Tegangan-tegangan harus dihitung berdasarkan beban-beban terfaktor menggunakan model elastik linier dan sifat-sifat penampang bruto. Untuk dinding-dinding dengan sayap, lebar efektif sayap yang digunakan harus sesuai 18.10.5.2 SNI 2847:2019.
---	--

6. Bila elemen-elemen batas khusus diperlukan oleh pasal 18.10.6.2 atau 18.10.6.3 SNI 2847:2019, maka a) hingga h) harus dipenuhi:
- a) Elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0,1\ell_w$ dan $c/2$, dimana c adalah tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang sesuai dengan δ_u yang ditinjau.
 - b) Lebar daerah tekan lentur, b , sepanjang jarak horizontal yang dihitung dengan 18.10.6.4(a) SNI 2847:2019, termasuk sayap bilamana ada, harus diambil minimal $h_u / 16$.
 - c) Untuk dinding atau pilar-pilar dinding dengan $h_w/\ell_w \geq 2,0$ yang secara efektif menerus dari dasar struktur hingga sisi paling atas dinding, yang didesain memiliki penampang kritis tunggal untuk beban-beban lentur dan aksial, dan dengan $c/\ell_w \geq 3/8$, lebar daerah tekan lentur b disepanjang daerah yang dihitung berdasarkan 18.10.6.4(a) SNI 2847:2019 harus lebih besar dari atau sama dengan 300 mm.
 - d) Pada penampang-penampang bersayap, elemen batas harus termasuk lebar sayap efektif yang mengalami tekan dan harus diperpanjang minimal 300 mm ke dalam badan dinding.
 - e) Tulangan transversal elemen batas harus memenuhi 18.7.5.2(a) hingga (e) SNI 2847:2019 dan 18.7.5.3 SNI 2847:2019, kecuali bila nilai h_x dalam 18.7.5.2 SNI 2847:2019 tidak melebihi nilai terkecil antara 350 mm dan dua pertiga ketebalan elemen batas, dan batasan spasi tulangan transversal sesuai 18.7.5.3a) SNI 2847:2019 harus diambil sepertiga dari dimensi terkecil elemen batas.
 - f) Jumlah tulangan transversal harus sesuai Tabel 18.10.6.4(f) SNI 2847:2019.
 - g) Bila penampang kritis terjadi di dasar dinding, maka tulangan transversal elemen batas pada dasar dinding harus diperpanjang ke dalam sistem tumpuan sejauh minimal ℓ_d , sesuai 18.10.2.3 SNI 2847:2019, yang dihitung berdasarkan tulangan longitudinal terbesar pada elemen batas khusus. Bila elemen batas khusus berhenti pada fondasi telapak, fondasi rakit atau pile cap, tulangan transversal

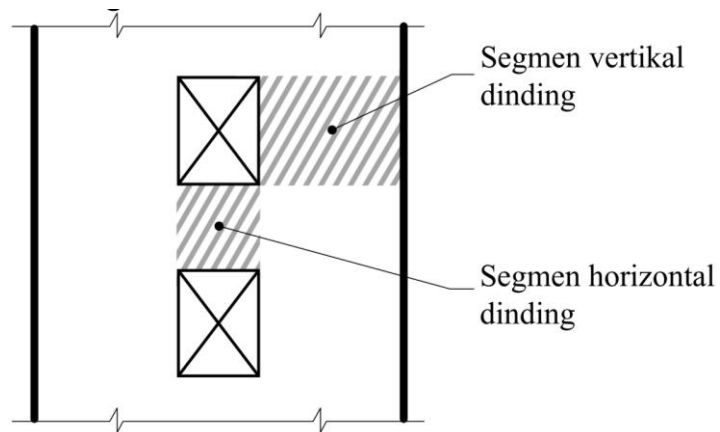
elemen batas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam sistem-sistem fondasi tersebut, kecuali jika diperlukan perpanjangan yang lebih besar berdasarkan 18.13.2 SNI 2847:2019.

- h) Tulangan horizontal pada badan dinding harus diperpanjang masuk sedalam 150 mm pada tepi dinding. Tulangan tersebut harus diangkur dalam inti terkekang pada elemen batas menggunakan kait standar atau tulangan berkepala agar mencapai f_y . Bila panjang zona elemen batas terkekang cukup memadai untuk menyalurkan tulangan horizontal badan, dan $A_v f_y / s$ tulangan badan tidak melebihi $A_{sh} f_y / s$ tulangan transversal elemen batas yang dipasang paralel dengan tulangan horizontal badan, maka tulangan horizontal badan tersebut dapat dihentikan tanpa kait standar atau kepala.

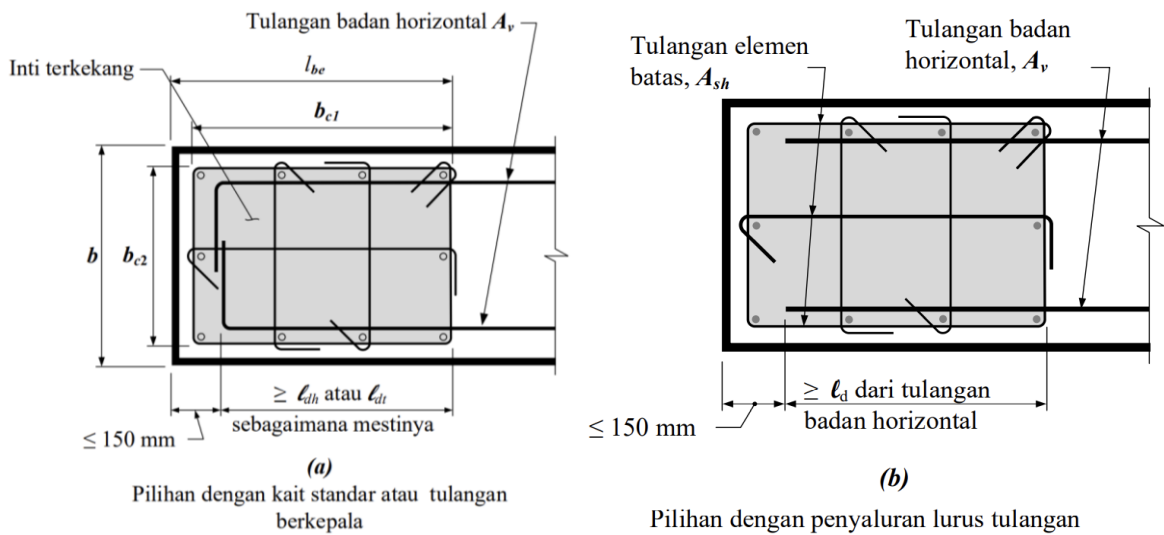
7. Bila elemen batas khusus tidak diperlukan sesuai 18.10.6.2 atau 18.10.6.3 SNI 2847:2019, maka (a) dan (b) harus dipenuhi:

- a) Jika rasio tulangan longitudinal pada elemen batas dinding melebihi $2,8/f_y$, maka tulangan transversal pada elemen batas tersebut harus memenuhi 18.7.5.2(a) hingga (e) SNI 2847:2019, disepanjang jarak yang dihitung sesuai 18.10.6.4(a) SNI 2847:2019. Spasi arah longitudinal pada tulangan transversal tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari 200 mm dan $8d_b$ batang tulangan lentur utama terkecil, kecuali spasi tersebut tidak melebihi nilai terkecil dari 150mm dan $6d_b$ di dalam zona sejauh nilai terbesar antara ℓ_w dan $M_u/4V_u$ di atas dan di bawah penampang kritis di mana pelelehan tulangan longitudinal dapat terjadi akibat perpindahan lateral inelastik yang ditinjau.

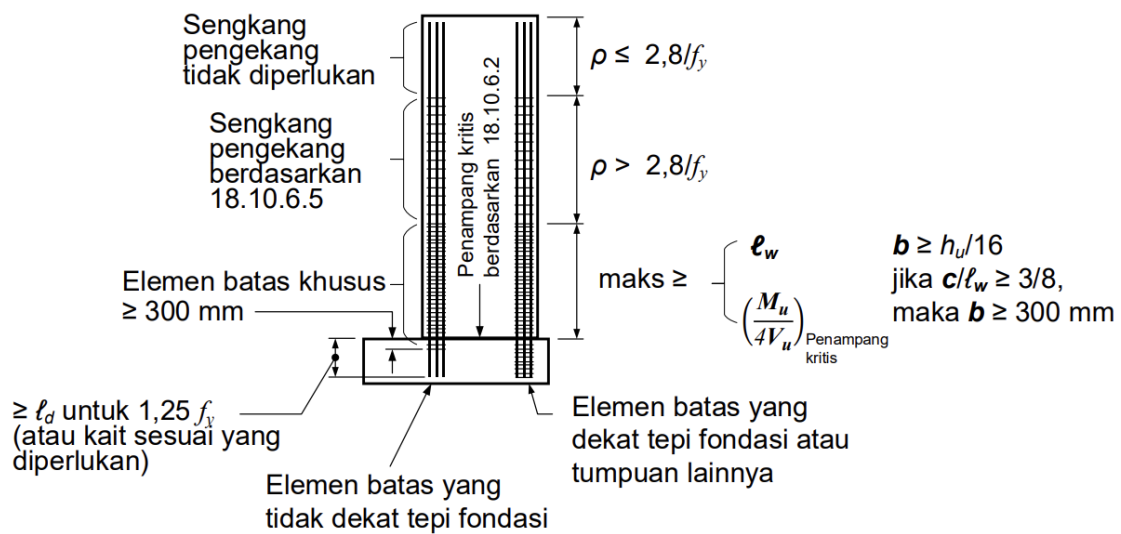
- b) Kecuali bila V_u pada bidang dinding lebih kecil dari $0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, maka tulangan horizontal yang berhenti pada tepi-tepi dinding struktural tanpa elemen batas harus memiliki kait standar yang melingkupi tulangan tepi atau tulangan tepi tersebut harus dilingkupi dalam sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama dengan, serta disambung-lewatkan pada, tulangan horizontal tersebut.



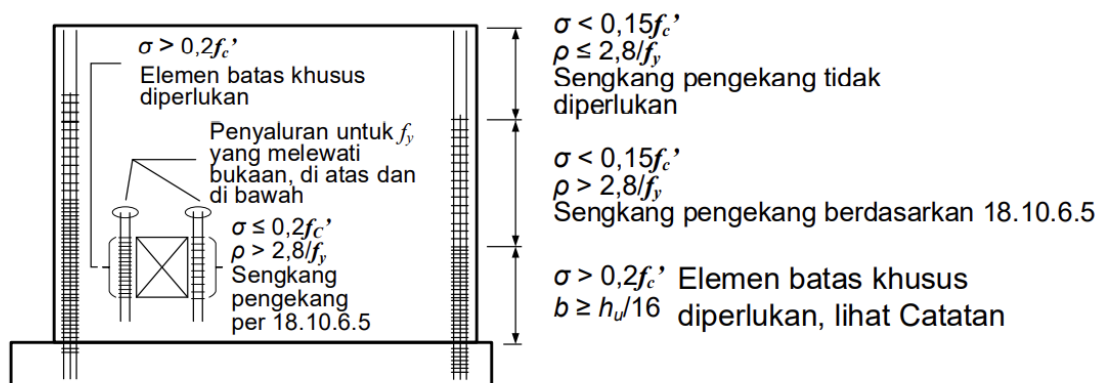
Gambar 2.6 Dinding dengan Bukaan



Gambar 2.7 Panjang Penyaluran Tulangan Horizontal Dinding dalam Elemen Batas yang Terkekang



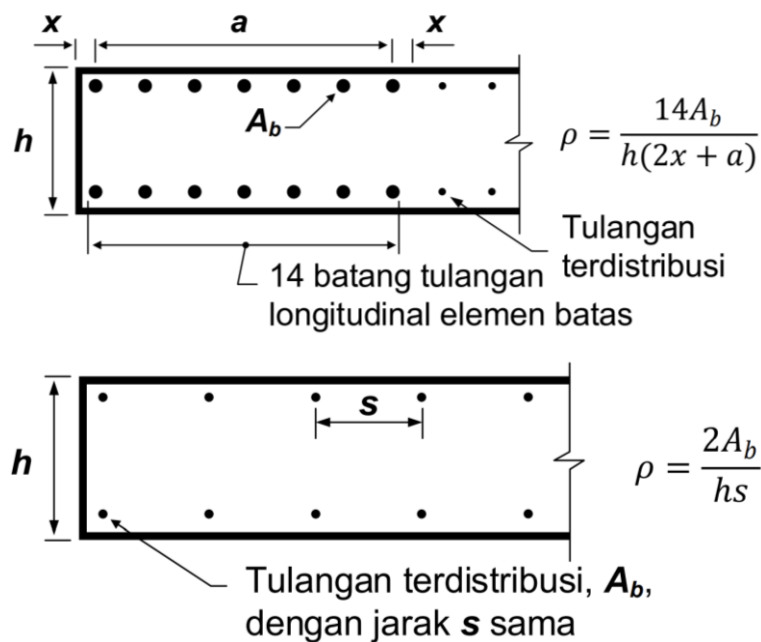
(a) Dinding dengan $h_w/l_w \geq 2.0$ dan satu penampang kritis terkontrol beban lentur dan aksial yang didesain menggunakan 18.10.6.2, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5



Catatan: Persyaratan elemen batas khusus dipicu apabila maksimum tegangan tekan serat terluar $\sigma > 0,2f_c'$. Bila diwajibkan, elemen batas khusus diperpanjang sampai $\sigma < 0,15f_c'$. Bilamana $h_w/l_w \leq 2,0$, 18.10.6.4(c) menjadi tidak berlaku

(b) Dinding dan pilar dinding yang didesain menggunakan 18.10.6.3, 18.10.6.4, dan 18.10.6.5

Gambar 2.8 Rangkuman Persyaratan Elemen Batas pada Dinding Khusus



Gambar 2.9 Rasio Tulangan Longitudinal untuk Elemen Batas Dinding Tipikal

2.13 Perencanaan Struktur Pondasi

Pondasi termasuk ke dalam bagian struktur bawah bangunan yang berfungsi sebagai penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah pendukung atau batuan yang berada di bawahnya. Pondasi harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan seluruh beban yang terjadi pada struktur, sehingga tidak mengalami kerusakan yang berarti seperti guling yang dapat menyebabkan kegagalan struktur.

2.13.1 Perencanaan Tiang Pancang

Daya dukung vertikal tiang pancang dihitung berdasarkan kombinasi tahanan gesekan (*Friction*) dan tahanan ujung (*End Bearing*). Daya dukung satu tiang dapat ditinjau berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan tanah posisi pondasi tiang pancang. Berikut langkah – langkah perencanaan pondasi tiang pancang berdasarkan hasil uji tanah ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

- Tahanan Ujung (*End Bearing Pile*)

Tiang pancang berikut dihitung berdasarkan tahanan ujung serta memindahkan beban yang diterima oleh tiang ke lapisan tanah keras yang berada di bawahnya. Persamaan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang sebagai berikut:

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \cdot P}{n_1} \dots\dots\dots (2.34)$$

Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_{tiang} = \text{Bahan} \times A_{tiang} \dots\dots\dots (2.35)$$

Keterangan:

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kN)

A_{tiang} = Luas permukaan tiang (m)

P = Nilai conus hasil uji tanah (kN/m)

n_1 = 3 (faktor keamanan)

P_{tiang} = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)

Bahan = Tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm)

Tahanan Gesek (*Friction Pile*)

Apabila pemancangan tiang hingga lapisan tanah keras sulit dilaksanakan dikarenakan letak tanah keras yang sangat dalam, dapat dipergunakan tiang pancang dengan daya dukung berdasarkan dengan perletakan antara tiang dengan tanah (*cleef*).

$$Q_{tiang} = \frac{JHP \cdot O}{n_2} \dots\dots\dots (2.36)$$

Keterangan:

1. Tahanan Ujung dan Tahanan Gesek (*End Bearing Pile and Friction Pile*)

Apabila perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung dan hambatan pelekat, maka persamaan daya dukung yang diijinkan sebagai berikut:

$$Q_{tiang} = \frac{A_{tiang} \cdot A}{n_1} + \frac{JHP \cdot O}{n_2} \dots\dots\dots (2.37)$$

Keterangan:

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang (kN)

O = Keliling tiang pancang (m)

JHP = Total *friction* (kN/m)

2. Daya Dukung Tiang Pancang

a. Berdasarkan Hasil SPT

Berikut merupakan perencanaan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil uji tanah ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_{tiang} = \frac{40 \cdot A \cdot Ni}{n} \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan:

Ni = Nilai SPT pada kedalaman i (kg/cm²)

A = Luas penampang tiang pancang (cm²)

n = Angka keamanan (2-3)

b. Berdasarkan Kekuatan Bahan

Berikut merupakan perencanaan daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan bahan ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_{tiang} = \sigma_h \cdot A_{tiang} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\sigma_{bahan} = 0,33 \cdot f c' \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan:

P_{tiang} = Kekuatan pikul tiang yang diijinkan

σ_{bahan} = Tegangan tekan tiang terhadap penumbukan

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang

3. Perhitungan jarak tiang pancang

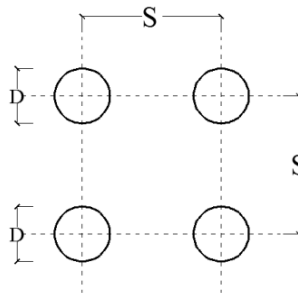
$$S_1 \geq 2,5D \dots\dots\dots (2.41)$$

$$S_1 \geq 3D \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan:

S = Jarak antar tiang

D = Diameter tiang



Gambar 2.10 Jarak dan Diameter Tiang Pancang

4. Merencanakan Jumlah Kebutuhan Tiang Pancang

Perencanaan jumlah tiang pancang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$n = \sum V / (\eta \times P_{tiang}) \dots\dots\dots (2.43)$$

5. Kontrol Tiang Pancang

Kontrol tiang pancang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_{tiang} = \frac{C_n \cdot A}{n_1} + \frac{JHP \cdot Keliling}{n_2} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$P_0 = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{(M_x \cdot x_{max})}{\sum x^2} \pm \frac{(M_y \cdot y_{max})}{\sum y^2} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$P_0 \text{maks} = \frac{\Sigma V}{n} \pm \frac{(M_x \cdot x_{\text{maks}})}{\Sigma x^2} \pm \frac{(M_y \cdot y_{\text{maks}})}{\Sigma y^2} < P_{\text{group}} \dots\dots\dots (2.46)$$

Keterangan:

- $P_0 \text{maks}$ = Beban maksimum tiang
- ΣV = Gaya aksial yang terjadi
- ΣM_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y
- ΣM_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x
- x_{maks} = Jarak tiang arah sumbu x terjauh
- y_{maks} = Jarak tiang arah sumbu y terjauh
- Σx^2 = Jumlah kuadrat x
- Σy^2 = Jumlah kuadrat y

6. Daya Dukung Pondasi Kelompok

Perencanaan daya dukung pondasi kelompok ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_0 \text{ min} \geq P_{\text{group}} = \eta \cdot P_{\text{tiang}} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$\text{Effisiensi} = \eta = 1 - \text{arc tg} \frac{D}{S} \times \frac{m(n-1)+n(m-1)}{m-n \cdot 90} \dots\dots\dots (2.48)$$

Keterangan:

- D = Diameter tiang pancang
- S = Jarak antar tiang pancang (AS ke AS)
- m = Jumlah tiang pancang dalam 1 kolom
- n = Jumlah tiang pancang dalam 1 baris

7. Cek kekuatan

$$P_0 \text{ maks} \geq P_{\text{ijin}} \times \eta \dots\dots\dots (2.49)$$

8. Perumusan Daya Dukung Ultimate pada sebuah pondasi menurut Terzaghi dan Meyerhof adalah:

Meyerhof adalah:

$$Q_{sp} = \frac{1}{FK} (f_b A_b + U \sum_{i=1}^n l_i f_{si}) \dots\dots\dots (2.50)$$

Keterangan:

- Q_{sp} = daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal
- FK = faktor keamanan
- f_b = tahanan ujung tiang
- A_b = luas penampang ujung tiang
- U = keliling tiang

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_{si} = intensitas tahanan geser tiang

2.13.2 Perencanaan *Pilecap*

Tebal *pilecap* harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari gaya geser *pilecap* yang terjadi. Berikut Langkah-langkah perencanaan *pilecap* sebagai berikut:

1. Panjang Penyaluran

Adanya tulangan dalam pancang maka diperlukan panjang penyaluran tulangan yang secara langsung dapat menentukan panjang dari pondasi yang akan dipakai pada perencanaan. Panjang penyaluran dapat ditentukan dengan rumusan mengacu pada peraturan SK-SNI 2002 Pasal 14.3.2 penyaluran batang ulir dalam kondisi tekan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$l_{db} = < 200mm, \text{ atau } l_{db} = 0,4 \cdot d_b \cdot f_y \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan:

f_y = Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

d_b = Diameter nominal batang tulangan

2. Geser Pons

Geser pons bertujuan untuk mengetahui tebal *pilecap* cukup kuat atau tidak untuk menahan beban terpusat yang terjadi. Bidang kritis pada perhitungan geser pons dapat dianggap tegak lurus bidang pelat yang terletak pada jarak $0,5d$ dari keliling beban reaksi terpusat tersebut, dimana d adalah tinggi efektif pelat. Berikut merupakan kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil ditentukan dengan perumusan yang mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 22.6.5.2 sebagai berikut:

Tabel 2.18 Perhitungan V_c untuk Geser Dua Arah

V_c		
Nilai terkecil dari a), b), dan c):	$0,33\lambda\sqrt{f_c'}$	a)
	$0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$	b)
	$0,083\left(2 + \frac{a_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f_c'}$	c)

Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 22.6.5.1, Tabel 22.6.5.2

Keterangan:

f_c' = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

b_0 = Keliling dari penampang kritis pada *pilecap*

$$2 \times (b_{kolom} + d) + 2 \times (h_{kolom} + d)$$

d = Diameter tiang (cm)

β = Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom, beban terpusat atau daerah reaksi

3. Kolom tidak tertumpu pada *pile*

Maka P yang diperhitungkan adalah P kolom ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$t = \frac{P}{4 \cdot h(h+B)} \dots\dots\dots (2.52)$$

$$t_{ijin} = 0,65\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.53)$$

Maka, perhitungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$t < t_{ijin} \dots\dots\dots (2.54)$$

4. Kolom tertumpu pada *pile*

Maka P yang diperhitungkan adalah P tiang pancang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$t = \frac{P}{\pi h(h+D)} \dots\dots\dots (2.55)$$

$$t_{ijin} = 0,65\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2.56)$$

Maka, perhitungan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$t < t_{ijin} \dots\dots\dots (2.57)$$

5. Momen Lentur

Momen lentur *pilecap* merupakan momen lentur yang dihasilkan dari besarnya beban yang dipikul dikalikan dengan jarak tegak lurus dari tengah *pile* menuju titik kritis akibat pembebanan dalam hal berikut adalah titik di muka kolom. Besarnya beban yang dipikul merupakan jumlah *pile* dibawah pengaruh area lentur dikalikan dengan daya dukung *pile*. Sehingga perhitungan besarnya beban total yang dipikul *pilecap* ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_u = \sum pile \times Q_u \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan:

P_u = Beban *ultimate* (N)

$\Sigma pile$ = Jumlah *pile* di bawah pengaruh arah lentur

Q_u = Daya dukung *ultimate* 1 *pile* (N)

Cara perhitungan untuk masing-masing momen lentur ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$M_{u1} = P_{u1} \left(\frac{kD}{2} - \frac{b_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.59)$$

$$M_{u2} = P_{u2} \left(\frac{kD}{2} - \frac{b_c}{2} \right) \dots\dots\dots (2.60)$$

Keterangan:

M_{u1} = Momen lentur kritis pertama (Nmm)

M_{u2} = Momen lentur kritis kedua (Nmm)

$P_{u1,2}$ = Beban *ultimate* (N)

K = Variabel jarak *pilecap* (2-3)

D = Diameter *pile*

b_c = Lebar kolom (mm)