

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Struktur Terhadap Beban Gempa SNI 1726:2019

1. Tentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Bangunan yang akan didesain dibagi dalam beberapa kategori risiko terhadap fungsi bangunannya sesuai dengan table berikut :

Tabel 3.1. Kategori Risiko bangunan Gedung dan Nongedung 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 - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 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 instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 3.1. (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

Tabel 3.2. Faktor Keutamaan Gempa

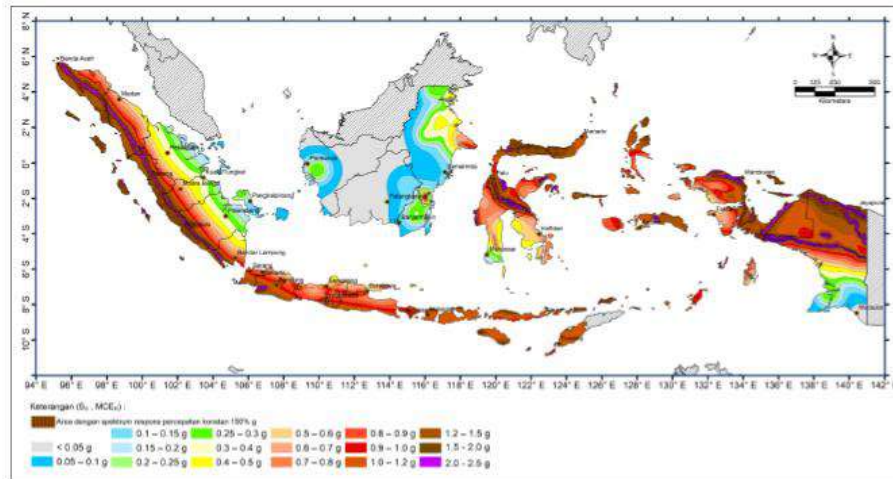
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

2. Tentukan Parameter Dasar S_s dan S_1

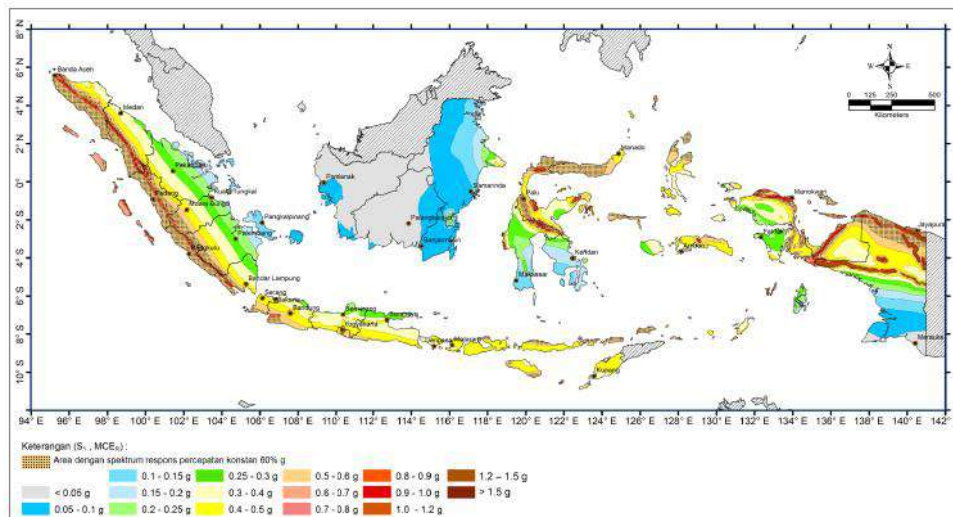
S_s adalah parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (0,2 detik) dengan redaman 5% berdasarkan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tersesuaian (*Maximum Considered Earthquake*, MCE) dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun.

Sedangkan S_1 adalah parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik dengan redaman 5% berdasarkan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tersesuaian dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun. Parameter ini didapatkan dari peta gempa dalam SNI 1726:2019.



Sumber : SNI 1726:2019

Gambar 3.1 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (S_s)



Sumber : SNI 1726:2019

Gambar 3.2. Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik (S_1)

3. Tentukan Parameter Respon Spektra S_{MS} dan S_{M1}

Parameter dasar tanah S_s dan S_1 tidak dapat langsung digunakan, masih diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik yang disebut faktor kelas situs. Faktor kelas situs terdiri dari faktor amplifikasi getaran untuk percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran untuk percepatan pada getaran periode detik (F_v)

Kombinasi dari parameter pergerakan tanah dan amplifikasi adalah S_{MS} dan S_{M1} yang merupakan faktor respon spectra percepatan gempa periode pendek (0,2 detik) dan periode 1 detik.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

Dimana :

S_s = parameter respon spektra percepatan gempa periode pendek (0,2 detik)

S_1 = parameter respon spektra percepatan gempa periode 1,0 detik.

Tabel 3.3. 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	1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 6.2

Tabel 3.4. 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					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	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	1,5					

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 6.2

4. Tentukan Parameter Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk S_{DS} dan S_{D1} harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

5. Gambar Respon Spektral Desain

- Untuk periode $T = 0$ dan $T = T_0$, dapat digunakan persamaan :

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

- Untuk periode $T = T_0$ dan $T = T_S$, $S_a = S_{DS}$
- Untuk periode $> T_S$, dan $\leq T_L$, dapat digunakan persamaan :

$$S_a = (\frac{SD1.TL}{T^2})$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respon spektra periode pendek

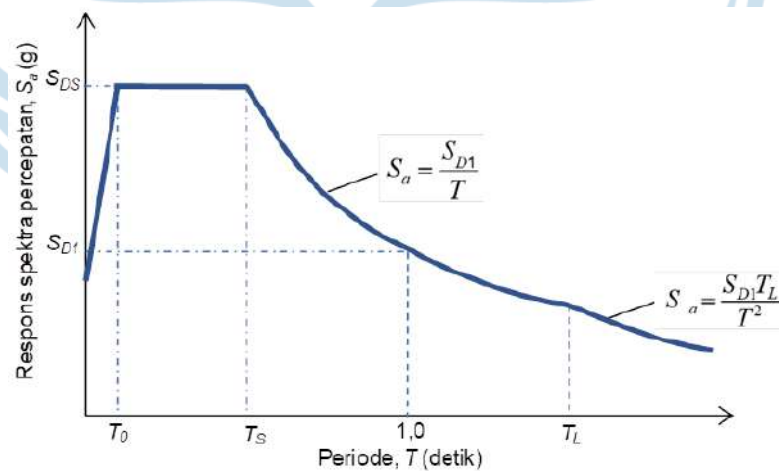
$SD1$ = parameter respon spektra periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_S = \frac{SD1}{SDS}$$

T_L = transisi periode Panjang sesuai grafik.



Sumber SNI 1726:2019 pasal 6.4

Gambar 3.3. Desain Respon Spektrum

6. Pemilihan Sistem Struktur

Sistem struktur penahan gaya lateral dan vertikal dipilih berdasarkan KDS-nya. Tipe struktur dapat ditentukan dengan mengacu pada tabel berikut:

Tabel 3.5. 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
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12 ^j	12 ^j	12 ^j
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¾	2	3¾	TB	TB	10 ^j	10 ^j	TI ^j
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ^j	12 ^j	12 ^j
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Tabel 3.5. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik
(Lanjutan)

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
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ⁱⁱ	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^h	3½	3 ^e	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^h	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 3.5. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik
(Lanjutan)

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
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber SNI 1726:2019 pasal 7.2.2

7. Periode Fundamental Pendekatan

Periode alami struktur dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung (C_u). Periode alami pendekatan (T_a) dihitung berdasarkan persamaan :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Keterangan :

h_n = ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi.

C_t dan x ditentukan dari tabel 3.6

Tabel 3.6. Koefisien batas periode yang dihitung (C_u)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DS}	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 3.7. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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:		
• 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

8. Hitung Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya dasar seismic dapat dihitung dengan persamaan :

$$V = C_S \cdot W$$

Dimana :

C_S = koefisien respon seismic yang ditentukan sesuai dengan 0

W = berat seismic efektif menurut 0

Besaran koefisien respon seismic dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respon spektra periode pendek

R = koefisien modifikasi respon dalam tabel 3.5

I_e = faktor keutamaan gempa

Untuk nilai C_s tidak perlu melebihi berikut ini :

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,0444 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

Keterangan :

Di mana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

S_1 = Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0

T = Periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan

9. Hitung Gaya Lateral Ekvivalen

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (N)

w_i dan w_x = total berat seismik struktur pada tingkat i atau x

k = eksponen periode struktur dengan nilai sebagai berikut :

$k=1$ untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik

$k=2$ untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik

$k=2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2 untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik

Pada tiap elemen vertikal sistem gaya seismik yang ditinjau harus didistribusikan geser tingkat desain gempa (V_x)

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Dimana :

F_i = gaya geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

10. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b, simpangan antar lantai desain harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

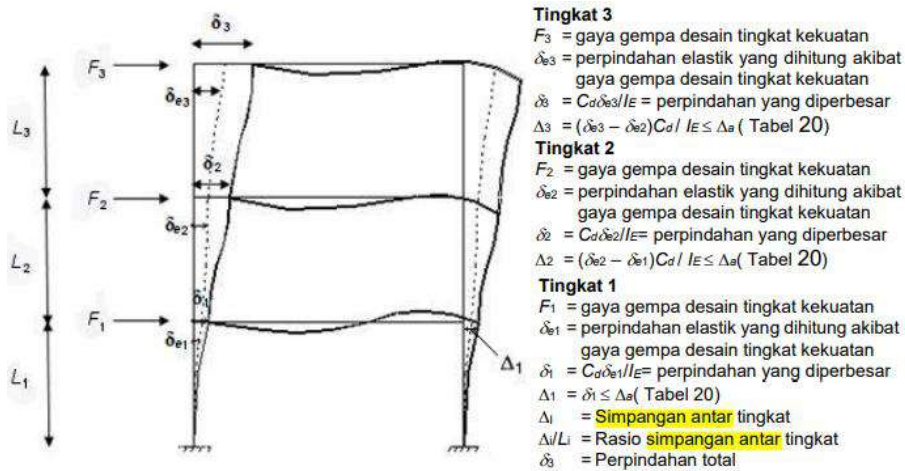
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana :

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_x = defleksi pada lokasi yang disyaratkan (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 3.4. Penentuan simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan izin (Δ_a).
 Simpangan antar lantai tingkat ijin diuraikan dalam tabel berikut :

Tabel 3.8. Simpangan antar tingkat ijin (Δ_a)

Struktur	Kategori risiko		
	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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

11. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Dimana :

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat (kN)

Δ = simpangan antar lantai tingkat desain (mm)

C_d = faktor amplifikasi defleksi

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

dimana :

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Nilai rasio diambil 1

Jika (θ) lebih besar dari 1 tetapi kurang dari sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

12. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur bangunan gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti dalam tabel harus dianggap mempunyai ketidakberaturan horizontal.

Tabel 3.9. Ketidakberaturan Horizontal Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 116 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 116 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 116	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 116	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 116	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 116 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

13. Eksentrisitas dan Torsi

Sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.8.4.1 dan 7.8.4.2 terdapat dua jenis torsi :

- Torsi bawaan** : Untuk diafragma yang tidak fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan, M_t , akibat eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.
- Torsi tak terduga** : Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t)(kN) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) (kN) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5 persen dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) seperti digambarkan dalam Gambar 4 dan ditentukan dari persamaan berikut:

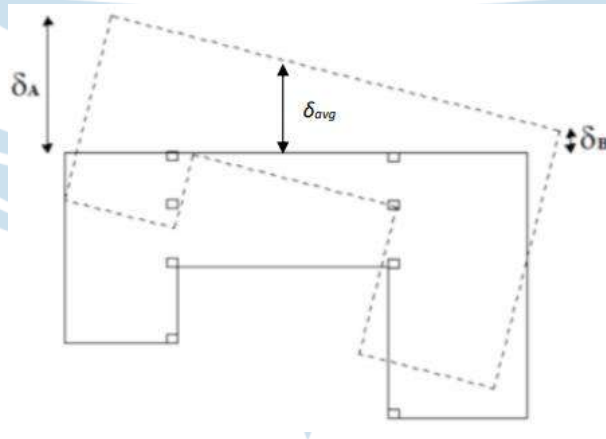
$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2$$

Dimana :

δ_{max} = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan asumsi $A_x = 1$ (mm)

δ_{avg} = rerata perpindahan di titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan asumsi $A_x = 1$ (mm)

A_x (faktor pembesaran torsi) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0.



$$\delta_{avg} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2}; A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2$$

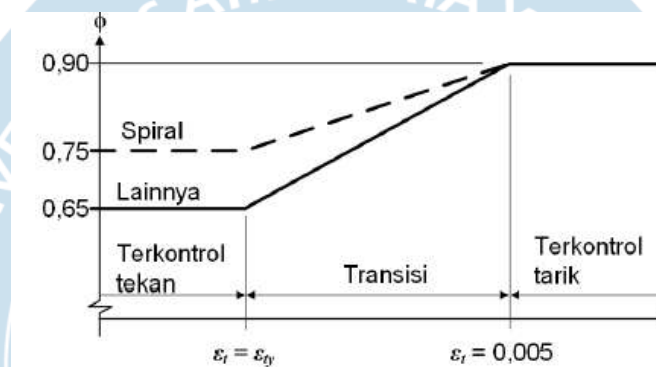
Gambar 3.5. Ketidakberaturan Horizontal

3.2. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019

Menurut SNI 2847:2019, kekuatan desain struktur atau penampang yang dihitung sesuai dengan ketentuan dan asumsi metode desain kekuatan. Kekuatan nominal dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ), dimana faktor reduksi kekuatan bergantung pada

regangan tarik netto pada baja tarik terluar. Apabila regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol Tarik maka kondisi tersebut merupakan terkendali tekan.

Batas regangan terkendali tekan yaitu 0,002 untuk tulangan mutu 420 MPa dan semua tulangan prategang. Sedangkan apabila regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) sama dengan atau lebih besar dari batas regangan 0,005 maka disebut kondisi terkendali tarik. Kondisi dimana regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh (ϵ_t) diantara batas regangan tekan (0,002) dan batas regangan tarik (0,005) disebut kondisi transisi.



Sumber SNI 2847:2019 pasal 21.2.2.2

Gambar 3.6. Grafik variasi nilai reduksi

3.2.1. Perencanaan Kolom

Tahapan dalam perencanaan kolom adalah:

1. Menentukan dimensi kolom

Kolom sistem rangka pemikul momen harus memikul gaya seismik utamanya dan didesain untuk menahan gaya lentur, geser dan aksial. Kolom harus memenuhi syarat :

- Penampang terkecil harus lebih dari sama dengan 300 mm
- Perbandingan ukuran terkecil penampang terhadap ukuran tegak lurus nya lebih besar dari sama dengan 0,4

2. Pengecekan kelangsingan kolom

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pengaruh kelangsingan kolom boleh diabaikan jika ketentuan berikut dipenuhi :

- Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22$$

- b. Untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12(M_1/M_2) \text{ dan } \frac{kl_u}{r} \leq 40$$

Keterangan:

k = faktor Panjang struktur tekan

r = radius girasi penampang struktur tekan

M_1, M_2 = momen ujung terfaktor kolom yang posisinya berlawanan

3. Mengecek kuat lentur

Kolom harus direncanakan memenuhi ketentuan kolom kuat-balok lemah, yaitu momen nominal kolom atas dan momen nominal kolom bawah jumlahnya harus lebih besar dari momen nominal balok di tumpuan kanan dan kiri. Tujuan ketentuan ini adalah mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen struktur pemikul beban lateral. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint.

4. Mengecek gaya geser kolom

Perencanaan terhadap gaya geser harus memenuhi persamaan

$$\phi V_n > V_u$$

Keterangan :

ϕ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser nominal = $V_c + V_s$

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Kuat geser dari beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1 ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_u = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$$

dan

$$V_u = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Keterangan :

A_v = luas tulangan geser

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

A_g = luas bruto penampang kolom

N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi

b_w = lebar balok

f_y = tegangan leleh baja

Spasi tulangan transversal direncanakan sesuai dengan ketentuan berikut:

- Tidak boleh lebih dari seperempat dimensi terkecil penampang kolom
- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
- S_o yang dihitung dengan $= S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$

Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

3.2.2. Perencanaan Balok

Tahapan perencanaan balok adalah sebagai berikut:

1. Dimensi Balok

Balok yang memenuhi sistem rangka pemikul momen khusus harus memenuhi syarat dimensi ;

- Lebar penampang (b_w) minimal 0,3h dan 250 mm
- Bentang bersih (l_n) minimal 4d
- Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing kolom

2. Tulangan Longitudinal

Balok harus memiliki setidaknya dua tulangan menerus pada sisi atas dan bawah. As min harus lebih besar dari

- a. $\frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y}b_wd$
- b. $\frac{1,4}{f_y}b_wd$

b_w dan d masing-masing adalah lebar dan tinggi efektif penampang lentur. Rasio tulangan ρ tidak boleh lebih dari 0,0025 baik tulangan atas maupun bawah. Kekuatan momen positif pada muka joint harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negative dan positif pada tiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan lentur terbesar pada bentang tersebut.

3. Tulangan Transversal

Tulangan geser (sengkang) merupakan komponen pengikat pada balok yang menahan gaya geser. Sengkang harus dipasang pada balok di daerah berikut :

- a. Sepanjang jarak yang sama hingga dua kali tinggi balok yang diukur dari muka tumpuan ke arah tengah bentang.
- b. Sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi penampang yang berpotensi membentuk sendi plastis.

Sengkang pertama harus dipasang tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tidak boleh melebihi nilai berikut :

- a. $d/4$
- b. enam kali diameter terkecil tulangan longitudinal (memanjang)
- c. 150 mm

Kuat geser perlu V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya static pada komponen struktur antara dua muka tumpuan

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2}$$

Di mana :

V_e = gaya geser ultimit balok akibat gempa

M_{pr1} = momen di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri (atau kanan)

M_{pr2} = momen di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri (atau kanan)

W_u = pengaruh beban gravitasi (1,2D+1,0L)

Tulangan transversal harus didesain untuk menahan kuat geser perlu dengan mengasumsikan $V_c = 0$ selama :

- Gaya geser akibat gempa mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa lebih kecil dari $A_g f_c' / 20$

3.2.3. Perencanaan Dinding Geser

Tahapan perencanaan dinding geser adalah :

1. Ketebalan Dinding

Sesuai dengan SNI 2847:2019, ketebalan dinding minimum harus sesuai dengan ketentuan berikut :

Tabel 3.10. Tebal minimum dinding h

Tipe dinding		Ketebalan minimum h	
Tumpu ⁽¹⁾	Terbesar dari	100 mm	(a)
		1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(b)
Bukan tumpu	Terbesar dari	100 mm	(c)
		1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(d)
Basemen dan fondasi eksterior ⁽¹⁾	190 mm		(e)

⁽¹⁾Hanya berlaku untuk dinding yang didesain sesuai dengan metode desain sederhana pada 11.5.3.

Sumber: SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.1

2. Kebutuhan tulangan vertikal dan horizontal.

- Periksa apakah dibutuhkan dua lapis tulangan

Tulangan vertikal dan horizontal masing-masing dipasang dua lapis apabila gaya geser terfaktor pada dinding melebihi :

$$0,17.A_{CV}.\lambda.\sqrt{f_c'} \quad \text{atau} \quad h w / l_w \geq 2$$

Dimana h_w dan l_w merupakan tinggi dan panjang dari dinding secara keseluruhan.

- Kebutuhan tulangan baja longitudinal dan transversal

Untuk dinding struktural, rasio tulangan longitudinal ρ_l , dan rasio tulangan transversal ρ_t minimum adalah 0,0025 dan spasi maksimum masing-masing arah tulangan adalah 450 mm.

Apabila V_u tidak melebihi $0,083A_{cv}\lambda\sqrt{f'c'}$ rasio tulangan vertikal dan horizontal diizinkan untuk direduksi sesuai ketentuan dalam tabel berikut :

Tabel 3.11. Tulangan minimum untuk dinding geser sebidang

Tipe dinding	Tipe dari tulangan nonprategang	Ukuran Tulangan	f_y , MPa	Longitudinal minimum ^[1] , ρ_l	Transversal minimum, ρ_t
Cor di tempat	Batang ulir	$\leq D16$	≥ 420	0,0012	0,0020
			< 420	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	$\leq \varnothing 13$ atau D13	Semua	0,0012	0,0020
Pracetak ^[2]	Batang ulir atau tulangan kawat las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

Sumber: SNI 2847:2019 pasal 11.6.1

3. Tulangan penahan gaya geser

Kuat geser perlu harus lebih besar daripada kuat geser nominal dinding.

$$\phi V_n \geq V_u. \text{ Dimana } V_n = V_c + V_c.$$

Untuk beban aksial tekan, V_c tidak boleh melebihi $0,17 \lambda \sqrt{f'c'} h.d$.

Untuk beban aksial tarik, V_c tidak boleh melebihi $0,17(1 + \frac{0,29N_u}{A_g}) \lambda \sqrt{f'c'} h.d$

Kuat geser nominal dinding struktural dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'c'} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w \leq 1,5,$$

$$= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w \geq 2,0$$

= variatif linier antara 1,5 dan 2,0 untuk nilai h_w/l_w antara 1,5 dan 2,0

ρ_t = rasio penulangan arah horizontal (transversal)

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

