

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Perencanaan Terhadap Gempa (SNI 1726-2012)

3.1.1 Gempa Rencana

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen. Besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

3.1.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none">- 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 resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none">- Perumahan- Rumah toko dan rumah kantor- Pasar- Gedung perkantoran- Gedung apartemen/ rumah susun- Pusat perbelanjaan/ mall- Bangunan industry- Fasilitas manufaktur- Pabrik Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none">- Bioskop- Gedung Pertemuan	II

Tabel 3.1 (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan missal 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 non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>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 berpotensi pada saat keadaan darurat</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3.1.3 Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Tabel 3.3 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 :		
	<ol style="list-style-type: none"> 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 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> - 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) 		

3.1.4 Parameter Percepatan Gempa

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini ;

$$S_{MS} = F_a S_S \quad \dots (3-1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad \dots (3-2)$$

Keterangan :

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Koefisien situs pada getaran periode pendek (F_a) dan getaran periode 1 detik (F_v) ditentukan mengikuti tabel 3.4 dan tabel 3.5.

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_S				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN :

- Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

- Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

3.1.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots (3-4)$$

3.1.6 Spektrum Respons Desain

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

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \quad \dots (3-5)$$

12. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_O dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}

13. Untuk periode lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots (3-6)$$

Keterangan :

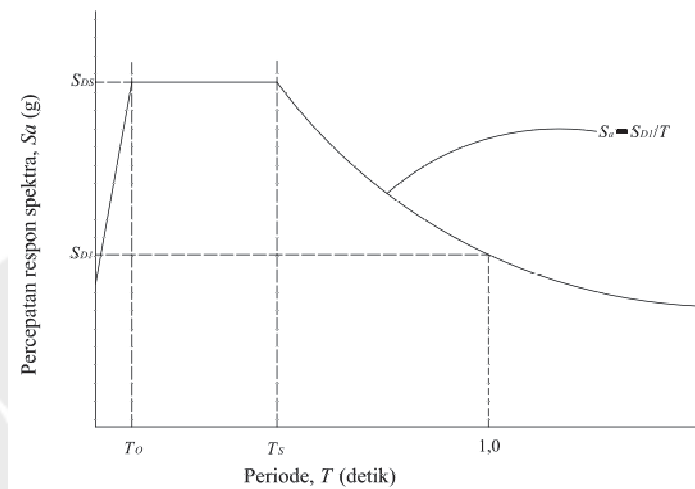
S_{DS} = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

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

T = periode getar fundamental struktur

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

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



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain

3.1.7 Kategori Desain Seismik

Semua struktur bangunan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko bangunan serta nilai S_{DS} dan S_{DI} , sesuai tabel 3.6 dan tabel 3.7.

Tabel 3.6 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

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	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

3.1.8 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diijinkan.

Tabel 3.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 3.8 (Lanjutan)

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

3.1.9 Faktor Redundansi

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus diambil sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0 :

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau.
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar.

3.1.10 Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

Faktor beban untul L pada kombinasi 3, 4, dan 5 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m^2 . Bila beban air F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban mati D pada kombinasi 1 hingga 5 dan 7.

Pengaruh beban gempa, E pada kombinasi pembebanan harus ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 harus ditentukan sesuai persamaan berikut :

$$E = E_h + E_v \quad \dots (3-7)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 harus ditentukan sesuai persamaan berikut :

$$E = E_h - E_v \quad \dots (3-8)$$

Keterangan :

E = pengaruh beban gempa
 E_h = pengaruh beban gempa horizontal

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horizontal, E_h , harus ditentukan sesuai persamaan berikut :

$$E_h = \rho Q_E \quad \dots (3-9)$$

Keterangan :

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p
 ρ = faktor redundansi

Pengaruh beban gempa vertikal, E_v , harus ditentukan sesuai persamaan berikut :

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad \dots (3-10)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
 D = pengaruh beban mati

3.1.11 Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_S W \quad \dots (3-11)$$

Keterangan :

C_S = koefisien respons seismik
 W = berat sismik efektif

Koefisien respons seismik, C_S , harus ditentukan sesuai persamaan :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-12)$$

Keterangan :

- S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek
 R = faktor modifikasi respons
 I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_S yang dihitung sesuai dengan persamaan (3-12) tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad \dots (3-13)$$

C_S harus tidak kurang dari :

$$C_S = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad \dots (3-14)$$

3.1.12 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 3.10 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang dihitung dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad \dots (3-15)$$

Keterangan :

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 3.11.

Tabel 3.9 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{D1}	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

Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan menvegah rangka dari defleksi jika dikenai beban gempa :		
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

Untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m, periode fundamental pendekatan, T_a , ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = 0,1N \quad \dots (3-16)$$

Keterangan :

N = jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau beton, periode fundamental pendekatan ditentukan, T_a , dari persamaan berikut :

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad \dots (3-17)$$

dimana h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan C_w dihitung sesuai persamaan berikut

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \left[\frac{A_i}{1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2} \right] \quad \dots (3-18)$$

Keterangan :

- A_B = luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)
 A_i = luas badan dinding geser “ i ”, dinyatakan dalam meter persegi (m^2)
 D_i = panjang dinding geser “ i ” dinyatakan dalam meter (m)
 h_i = tinggi dinding geser “ i ” dinyatakan dalam meter (m)
 x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau

3.1.13 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \quad \dots (3-19)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad \dots (3-20)$$

Keterangan :

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
 V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (W) (kN)
 w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
 h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , (m)
 k = eksponen yang terkait dengan periode struktur :
 untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
 untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau kurang, $k = 2$
 untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.3.14 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad \dots (3-21)$$

Keterangan :

F_i = bagian dari geser seismik V yang timbul di tingkat i (Kn)

3.1.15 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, dimana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 10 SNI 1726-2012 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) yang ditentuka dari persamaan berikut :

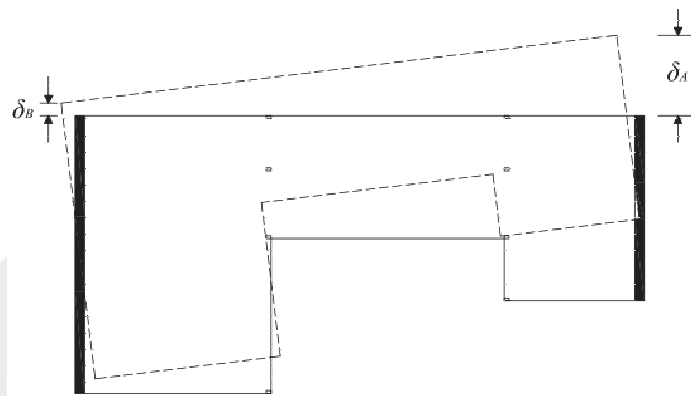
$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad \dots (3-22)$$

Keterangan :

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

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

Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak disyaratkan melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.



$$\delta_{rata-rata} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} ; \quad A_x = \left[\frac{\delta_{maksimum}}{1,2\delta_{rata-rata}} \right]^2$$

Gambar 3.2 Faktor Pembesaran Torsi

3.1.16 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad \dots (3-23)$$

Keterangan:

C_d = faktor amplifikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis

I_e = faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_d) seperti didapatkan dari Tabel 3.12 untuk semua tingkat.

Tabel 3.11 Simpangan Antar Lantai Ijin, $(\Delta_a)^{a,b}$

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 lantai tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^a	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

3.1.17 Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta pada geser dasar 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 :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad \dots (3-24)$$

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

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad \dots (3-25)$$

Keterangan :

- P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat (kN)
- Δ = simpangan antar lantai tingkat desain (mm)
- I_e = faktor keutamaan gempa
- V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kN)
- h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)
- C_d = faktor pembesaran defleksi
- β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$

3.1.18 Analisis Spektrum Respons Ragam

Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa

aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Bila periode fundamental yang dihitung melebihi $C_u T_a$, maka $C_u T_a$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_i) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_i}$.

Jika respons terkombinasi untuk geser dasar ragam (V_i) kurang dari 85 persen dari $C_s W$, simpangan antar lantai harus dikalikan dengan $0,85 \frac{C_s W}{V_i}$.

3.2 Perhitungan Struktur Beton Bertulang (SNI 2847-2013)

3.2.1 Kekuatan Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan, ϕ , sesuai Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Faktor Reduksi Kekuatan

Komponen Struktur	Faktor Reduksi (ϕ)
Penampang terkendali tarik	0,90
Penampang terkendali tekan	
- dengan tulangan spiral	0,75
- dengan tulangan lainnya	0,65
Geser dan torsi	0,75
Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)	0,65
Daerah angkur pasca tarik	0,85

Tabel 3.12 (Lanjutan)

Komponen Struktur	Faktor Reduksi (ϕ)
Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan	0,75
Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik <ul style="list-style-type: none"> - dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer - dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran θ boleh ditingkatkan secara linier dari : 	0,75 0,75 sampai 0,9

3.2.2 Komponen Struktur Lentur Rangka Momen Khusus

Komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan diproporsikan terutama untuk menahan

lentur harus memenuhi kondisi-kondisi berikut :

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi $A_g f'_c / 10$
2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya
3. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm
4. Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari :
 - (a) Lebar komponen struktur penumpu, c_2 , dan
 - (b) 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1

3.2.2.1 Tulangan Longitudinal

Pada sembarang komponen struktur lentur, untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari persamaan berikut :

$$A_s = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad \dots (3-26)$$

$$A_s = 1,4 \frac{b_w d}{f_y} \quad \dots (3-27)$$

dan tidak boleh lebih dari :

$$A_s = 0,025b_w d \quad \dots (3-28)$$

Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.

Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan :

1. dalam joint
2. dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint, dan
3. bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka

3.2.2.2 Tulangan Transversal

Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut :

1. Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur
2. Sepanjang panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.

Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

1. $d/4$
2. enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
3. 150 mm

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

3.2.2.3 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa

komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana :

1. Gaya geser yang ditimbulkan gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum
2. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$

3.2.3 Komponen Struktur Rangka Momen Khusus yang Dikenai Beban Lentur dan Aksial

Komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial terfaktor P_u akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi $A_g f'_c / 10$. Komponen struktur rangka ini harus memenuhi :

1. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm
2. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh lebih kurang dari 0,4

3.2.3.1 Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan berikut :

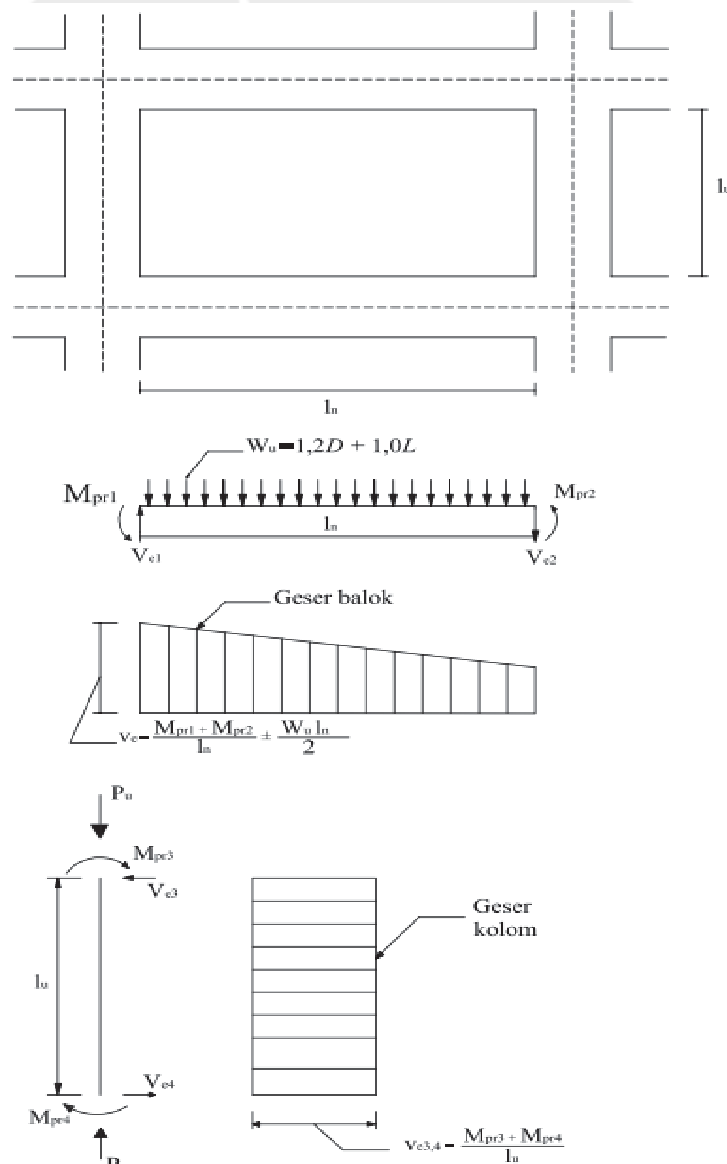
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad \dots (3-29)$$

Keterangan :

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom

harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.



Gambar 3.3 Geser Desain Untuk Balok dan Kolom

3.2.3.2 Tulangan Memanjang

Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$.

3.2.3.3 Tulangan Transversal

Tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang l_o dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

1. tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi
2. seperenam bentang bersih komponen struktur
3. 450 mm

Spasi tulangan transversal sepanjang panjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

1. seperempat dimensi komponen struktur minimum
2. enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
3. s_o , seperti didefinisikan oleh persamaan berikut :

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad \dots (3-30)$$

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

Jumlah tulangan transversal harus dipenuhi sesuai yang disyaratkan sebagai berikut :

1. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan berikut :

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad \dots (3-31)$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad \dots (3-32)$$

2. Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad \dots (3-33)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \quad \dots (3-34)$$

3.2.3.4 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan pada M_{pr} komponen struktur transversal yang merangka ke dalam joint. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Tulangan transversal sepanjang panjang l_o , harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilaman keduanya terjadi :

1. Gaya geser yang ditimbulkan gempa, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o
2. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10$.

3.2.4 Joint Rangka Momen Khusus

Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter batang tulangan.

Untuk beton berat normal, V_n joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan :

1. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka
..... $1,7\sqrt{f'_c A_j}$
2. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan $1,2\sqrt{f'_c A_j}$
3. Untuk kasus-kasus lainnya $1,0\sqrt{f'_c A_j}$

3.2.5 Dinding Geser

Ketentuan untuk perencanaan dinding diatur dalam SNI 1726-2012 pasal 11.9 antara lain sebagai berikut :

1. Desain penampang horizontal untuk bidang dinding harus didasarkan pada persamaan berikut :

$$\phi V_n \geq V_u \quad \dots (3-35)$$

Keterangan :

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = kekuatan geser nominal yang dihitung, yang dihitung sesuai persamaan (3-36)

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots (3-36)$$

Keterangan :

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton

V_n pada semua penampang horizontal untuk geser dalam bidang dinding tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83\sqrt{f'_c}hd$

Keterangan :

h = tebal dinding

d = harus diambil sama dengan $0,8l_w$

2. V_c boleh yang lebih kecil dari nilai yang dihitung dari persamaan berikut :

$$V_c \leq 0,27\lambda\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad \dots (3-37)$$

atau :

$$V_c = \left[0,05\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(0,1\lambda\sqrt{f'_c} + 0,2 \frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd \quad \dots (3-38)$$

Keterangan :

l_w = panjang keseluruhan dinding

N_u = positif untuk tekan dan negatif untuk tarik

Jika $(M_u/V_u - l_w/2)$ adalah negatif, persamaan (3-38) tidak berlaku.

3. Bila V_u melebihi ϕV_c , maka tulangan geser horizontal harus disediakan untuk memenuhi persamaan (3-35) dan (3-36), dimana V_s harus dihitung dengan :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \dots (3-39)$$

Keterangan :

A_v = luas tulangan horizontal dalam spasi s

d = harus diambil sama dengan $0,8l_w$

4. Rasio luas tulangan geser horizontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal ρ_t tidak boleh kurang dari 0,0025.
5. Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/5$, $3h$, dan 450 mm, dimana l_w adalah panjang keseluruhan dinding.
6. Rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang horizontal, ρ_t tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari :

$$\rho_t = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \quad \dots (3-40)$$

dan 0,0025.

7. Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/3$, $3h$, dan 450 mm,

Beberapa ketentuan lainnya tentang dinding diatur dalam SNI 1726-2012 pasal 21.9 antara lain sebagai berikut :

1. Rasio tulangan badan (*web*) terdistribusi, ρ_l dan ρ_t , untuk dinding struktur tidak boleh kurang dari 0,0025, kecuali bahwa jika V_u tidak melebihi $0,083A_{cv}\sqrt{f'_c}$.
2. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktur tidak boleh melebihi 450 mm
3. Paling sedikit dua tirai tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika V_u melebihi $0,17 A_{cv}\sqrt{f'_c}$
4. V_u harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor.
5. V_n dinding struktur tidak boleh melebihi :

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad \dots (3-41)$$

Keterangan :

- α_c = 0,25 untuk $h_w/l_w \leq 1,5$, 0,17 untuk $h_w/l_w \geq 2,0$, dan bervariasi secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/l_w antara 1,5 dan 2,0.
6. Dinding harus mempunyai tulangan geser terdistribusi yang memberikan tahanan dalam dua arah ortogonal pada bidang dinding. Jika h_w/l_w tidak melebihi 2,0, rasio tulangan ρ_l tidak boleh kurang dari rasio tulangan ρ_t .
 7. Untuk segmen dinding vertikal yang menahan gaya lateral yang sama, kombinasi V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$. Untuk salah satu dari semua segmen dinding vertikal individu, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83A_{cv}\sqrt{f'_c}$.
 8. Untuk segmen dinding horizontal termasuk balok kopel, V_n tidak boleh

diambil lebih besar dari $0,83A_{cv}\sqrt{f'_c}$, dimana A_{cv} adalah luas penampang beton suatu segmen dinding horizontal atau balok kopel.

3.2.6 Elemen Pembatas Dinding Struktur Khusus

1. Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen pembatas khusus dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} \quad \dots (3-42)$$

c berkaitan dengan sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan perpindahan desain δ_u . Rasio δ_u / h_w tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

2. Bila elemen pembatas khusus diperlukan, tulangan elemen pembatas khusus harus menerus secara vertikal dari penampang kritis suatu jarak tidak kurang dari yang lebih besar dari l_w atau $M_u/4V_u$.
3. Bila elemen pembatas khusus disyaratkan, maka pasal 21.9.6.4 SNI 1726-2102, (a) sampai (e) harus dipenuhi.
4. Bila elemen pembatas khusus tidak disyaratkan, maka SNI 1726-2012 pasal 21.9.6.5, (a) dan (b) harus dipenuhi.