

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Analisis Gempa Berdasarkan SNI 1726 : 2012

##### 3.1.1 Gempa rencana

Berdasarkan pasal 4.1.1 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

##### 3.1.2 Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan

Untuk berbagai kategori 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. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori 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 3.1** Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak	I

Lanjutan **Tabel 3.1**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<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"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur, pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiki tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> </ul>	III

Lanjutan **Tabel 3.1**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan, termasuk, tapi yang tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung 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</p>	III

Lanjutan **Tabel 3.1**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahannya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan – bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat.</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya.</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat.</li> <li>• Pusat pembangkit energy dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat.</li> </ul>	IV

Lanjutan **Tabel 3.1**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> <li>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, struktur satsiun listrik, tangki air pemadann kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam risiko IV</p>	IV

**Tabel 3.2** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,5

### 3.1.3 Klasifikasi situs untuk desain seismik

Menurut pasal 5.1 prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismic berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismic 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. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.3 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya.

**Tabel 3.3** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/det)	$\bar{N}$ 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 bauan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang megandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{S}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		

Lanjutan **Tabel 3.3**

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/det)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah.</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3\text{m}</math>)</li> <li>• Lempung berplastisitas sangat tinggi ( ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul>	Lapisan lempung lunak/ stengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa

### 3.1.4 Wilayah gempa dan spektrum respons

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing – masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan dsimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 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 spectrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{ms}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{m1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{ms} = F_a S_s \quad (3-1)$$

$$S_{m1} = F_v S_1 \quad (3-2)$$

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti Tabel 3.4 dan Tabel 3.5, seperti dibawah ini:

**Tabel 3.4** Koefisien Situs

Kelas Situs	Parameter respon spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T= 0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SB	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 <sup>b</sup>				

Catatan:

- (a) Untuk nilai – nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteksik spesifik dan analisis respons situs spesifik

**Tabel 3.5** Koefisien Situs  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respon spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1 detik, $S_I$				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SB	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Catatan:

- (a) Untuk nilai – nilai antara  $S_I$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan perioda 1 detik,  $S_{DI}$  harus ditentukan melalui persamaan berikut:

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

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3-4)$$

Berdasarkan pasal 6.4, bila spectrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva

spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan dibawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$  , spectrum respons percepatan desain  $S_a$  , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-5)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_1$  , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$  ,
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$  , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

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

Dengan:

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3-7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3-8)$$

### 3.1.5 Kategori desain seismik

**Tabel 3.6** KDS 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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 3.7** KDS 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

### 3.1.6 Periode fundamental pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-9)$$

Keterangan:

$h_n$  adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8** 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 diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa.		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan  $T_a$ , dalam detik dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N \quad (3-10)$$

Dengan:

$N$  = jumlah tingkat

**Tabel 3.9** Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda 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

### 3.1.7 Sistem struktur dan parameter struktur

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa dimasing – masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing – masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 3.10.

**Tabel 3.10** Nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembersaran defleksi $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 1/2	4	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 1/2	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB	
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2 1/2	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB	
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 1/2	5	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 1/2	4	TB	TB	TB	TB	TB	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 1/2	5	TB	TB	TB	TB	TB	
7. Dinding geser pelat baja dan	7 1/2	2 1/2	6	TB	TB	TB	TB	TB	

Lanjutan Tabel 3.10

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembersaran defleksi $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
beton komposit								
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2 1/2	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2 1/2	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5 1/2	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 1/2	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2 1/2	6 1/2	TB	TB	TB	TB	TB
<b>E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah dan mampu menaham paling sediki 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing	6	2 1/2	5	TB	TB	10	TI	TI <sup>h,k</sup>

Lanjutan Tabel 3.10

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembers aran defleksi $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
konsentris khusus									
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6 1/2	2 1/2	5	TB	TB	48	30	30	
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2 1/2	TB	48	TI	TI	TI	
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3 1/2	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5 1/2	2 1/2	4 1/2	TB	TB	48	30	TI	
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	3 1/2	2 1/2	3	TB	TB	TI	TI	TI	
7. Dinding geser baja dan beton komposit dengan bresing biasa	5	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI	
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5 1/2	2 1/2	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI	

### 3.1.8 Koefisien respons seismik

Koefisien respon seismik  $C_s$  harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-11)$$

Dengan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang perioda pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan

$C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-12)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,55 S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-13)$$

### 3.1.9 Gaya dasar seismik

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

$$V = C_s W \quad (3-14)$$

Dengan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

### 3.1.10 Distribusi vertikal gaya gempa

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

$$F_x = C_{vx}V \quad (3-15)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=0}^n w_i h_i^k} \quad (3-16)$$

Dengan:

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

### 3.1.11 Distribusi horisontal gaya gempa

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-17)$$

Keterangan:

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul di tingkat  $i$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN)

## 3.2 Analisis Beton Struktural Berdasarkan SNI 2487 : 2013

### 3.2.1. Kekuatan perlu ( $U$ )

Kekuatan perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban sesuai dengan peraturan gempa SNI 1726:2012 sebagai berikut:

1.  $U = 1,4D$  (3-18)

2.  $U = 1,2D + 1,6L$  (3-19)

3.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$  (3-20)

4.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$  (3-21)

5.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$  (3-22)

6.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$  (3-23)

7.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$  (3-24)

8.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$  (3-25)

9.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$  (3-26)

10.  $U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$  (3-27)

11.  $U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$  (3-28)

$$12. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-29)$$

$$13. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-30)$$

$$14. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-31)$$

$$15. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-32)$$

$$16. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-33)$$

$$17. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-34)$$

$$18. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-35)$$

Keterangan :

$U$  = kuat perlu

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$E_x$  = beban gempa (arah x)

$E_y$  = beban gempa (arah y)

### 3.2.2. Kekuatan rencana

Berdasarkan SNI 2847-2013, 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 dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi$ . Untuk faktor reduksi kekuatan  $\phi$  menurut SNI 2847-2013 dapat dilihat pada Tabel 3.11.

**Tabel 3.11** Faktor Reduksi Kekuatan  $\phi$ 

No.	Keterangan	$\phi$
1.	Penampang terkendali tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan:	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
	b. Komponen struktur dengan tulangan lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, dan strat pengikat daerah pertemuan ( <i>nodal</i> ) dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> kurang dari panjang penyaluran:	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran	0,75-0,9

### 3.2.3. Perencanaan struktur atas

Berikut adalah struktur atas yang akan dihitung dalam perencanaan:

#### 1. *Flat slab*

Tebal minimum pelat tanpa balok yang menghubungkan tumpuan tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari dua harus memenuhi ketentuan:

a. Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0,2$  harus memenuhi tabel berikut:

**Tabel 3.12** Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, $f_y$ (Mpa)	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir		Tanpa Balok Pinggir	Dengan Balok Pinggir	
280	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 40$	$l_n / 40$
420	$l_n / 30$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$
520	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

Dan tidak boleh kurang dari:

Pelat tanpa penebalan (drop panels) = 125 mm

Pelat dengan penebalan (drop panels) = 100 mm

b. Untuk  $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$ , ketebalan minimum pelat harus memenuhi:

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-36)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

c. Untuk  $\alpha_{fm} > 2$ , ketebalan minimum pelat harus memenuhi:

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-37)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

## 2. Balok

Tebal minimum balok non – prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$a. h_{min} = \frac{L}{16} \text{ (digunakan apabila } f_y = 420 \text{ MPa)} \quad (3-38)$$

$$b. h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \text{ (digunakan untuk } f_y \text{ selain 420 MPa)} \quad (3-39)$$

$$c. h_{min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003 w_c) \quad (3-40)$$

(digunakan untuk nilai  $w_c$  1440–1840 kg/m<sup>3</sup>)

## 3. Kolom

### a. Cek kelangsingan kolom

Berdasarkan pasal 10.10.1.1 pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus – kasus berikut:

1. Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-bresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping.

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-41)$$

2. Untuk komponen struktur tekan yang di-bresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping.

$$\frac{kl_u}{r} \leq 24 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-42)$$

Dengan:

$k$  = faktor panjang efektif

$l_u$  = tinggi bersih kolom

$r$  = radius girasi kolom

$M1$  = momen ujung faktor yang lebih kecil

$M2$  = momen ujung terfaktor yang lebih besar

b. Tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1 luas tulangan memanjang  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih besar dari  $0,06A_g$ . Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah minimum batang tulangan longitudinal harus 6 (pasal 21.6.3.2). Kuat lentur minimum kolom harus memenuhi:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-43)$$

Dengan:

$\sum M_{nc}$  = 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. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen – momen dimuka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang didefinisikan pada pasal 8.12 harus di asumsikan menyumbang

kepada  $M_{nb}$  jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

c. Tulangan transversal

Berdasarkan pasal 21.6.4.1 tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang  $l_0$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastic rangka. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari:

1. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi.
2. Seperenam bentang bersih komponen struktur.
3. 450 mm.

Kuat geser

$V_c$  harus dihitung dengan ketentuan – ketentuan seperti yang tertera pada pasal 11.2.1.1 dan 11.2.1.2, yaitu:

1. Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja,

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (3-44)$$

2. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial,

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (3-45)$$

Dimana besaran  $\frac{N_u}{A_g}$  harus dinyatakan dalam MPa

Kuat geser nominal

Berdasarkan pasal 11.4.7.2 bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, maka kuat geser dihitung berdasarkan:

$$V_c = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (3-46)$$

Dimana  $A_v$  adalah luasan tulangan geser yang berada dalam spasi  $s$ . Dan pada pasal 11.4.7.9  $V_s$  tidak boleh diambil lebih besar dari persamaan berikut:

$$0,66\sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-47)$$

Dalam pasal 11.4.6.3 diisyaratkan pula bahwa luasan tulangan geser minimum ditentukan dengan persyaratan berikut:

$$A_{v,min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (3-48)$$

Dan tidak boleh kurang dari

$$A_{v,min} = \frac{0,35 b_w s}{f_y} \quad (3-49)$$

Dengan

$V_c$  = kekuatan geser nominal beton

$\lambda$  = faktor modifikasi properti beton ringan

$N_u$  = gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang

$V_s$  = kekuatan geser nominal tulangan geser

$s$  = spasi pusat ke pusat tulangan

$A_v$  = luas tulangan geser berspasi

Tegangan geser nominal

Berdasarkan pasal 11.1.1 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n = V_u \quad (3-50)$$

Dimana,

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-51)$$

Syarat spasi sengkang

Spasi tulangan transversal sepanjang  $l_0$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. Seperempat dimensi komponen struktur minimum.
2. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil.
3.  $s_0$ , seperti didefinisikan berikut

$$s_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3-52)$$

Nilai  $s_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Berdasarkan pasal 21.6.4.4 jumlah tulangan transversal harus dipenuhi sesuai dengan yang diisyaratkan luas penampang total tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$  tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-50)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}} \quad (3-51)$$

Dengan:

$A_g$  = luas bruto penampang beton

$A_{ch}$  = luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal.

$A_{sh}$  = luas penampang total tulangan transversal termasuk dalam spasi ( $s$ ) dan tegak lurus terhadap dimensi  $b_c$ .

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

$f_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal

#### 4. Dinding geser

SNI 03-2847-2013 pasal 22.6.6.2 menyebutkan bahwa tebal dinding selain dinding basement luar dan dinding pondasi, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari  $1/24$  tinggi atau panjang tak tertumpu, yang mana yang lebih oendek atau tidak boleh kurang dari 140 mm.

$$\text{Tebal rencana dinding} \geq \frac{H}{24}$$

$$\text{Tebal rencana dinding} \geq \frac{L}{24}$$

$$\text{Tebal rencana dinding} \geq 140 \text{ mm}$$

Dimana:

H = tinggi total dinding

L = panjang bentang dinding