

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perencanaan Pembebanan

Dalam perancangan gedung bertingkat sesuai dengan SNI 1727:2013 tentang pembebanan, suatu struktur dan komponennya diharuskan memiliki kekakuan terhadap gaya-gaya yang bekerja terhadap struktur itu sendiri. Komponen struktural dan nonstruktural dan sambungan-sambungannya harus memiliki kekuatan yang memadai untuk memenuhi pengaruh dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Berikut adalah kombinasi beban yang akan digunakan sesuai dengan SNI 1726:2012 :

$$1,4 D \quad (3-1)$$

$$1,2 D + 1,6 L \quad (3-2)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + E_x + 0,3 E_y + 1,0 L \quad (3-3)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + E_x - 0,3 E_y + 1,0 L \quad (3-4)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D - E_x + 0,3 E_y + 1,0 L \quad (3-5)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D - E_x - 0,3 E_y + 1,0 L \quad (3-6)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 0,3 E_x + E_y + 1,0 L \quad (3-7)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 0,3 E_x - E_y + 1,0 L \quad (3-8)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 E_x + E_y + 1,0 L \quad (3-9)$$

$$(1,2 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 E_x - E_y + 1,0 L \quad (3-10)$$

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + E_x + 0,3 E_y \quad (3-11)$$

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

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

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - E_x - 0,3 E_y \quad (3-14)$$

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

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

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

$$(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 E_x - E_y \quad (3-18)$$

## 3.2 Perencanaan Beban Gempa

### 3.2.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Dalam perancangan struktur bangunan menurut SNI 1726:2012 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, setiap struktur bangunan memiliki kategori risiko masing-masing. Untuk berbagai risiko 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 risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan

yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 3.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, 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</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</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 massal terhadap kehidupan masyarakat</p>	III

Tabel 3.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi 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 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"> <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 energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 3.2 Faktor keutamaan gempa

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

### 3.2.2 Klasifikasi Situs

Penjelasan mengenai prosedur klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. 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, berdasarkan profil tanah lapisan 30m paling atas. (SNI 1726:2012)

Table 3.3 Klasifikasi situs

Kelas situs	$v_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$s_u$ (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"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w &gt; 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niralir <math>s_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		

Table 3.3 Klasifikasi situs (lanjutan)

Kelas situs	$v_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$s_u$ (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"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</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/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

### 3.2.3 Wilayah Gempa dan Spektral Respon Percepatan Gempa

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, sesuai dengan SNI 1726:2012, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-19)$$

$$S_{M1} = F_1 S_1 \quad (3-20)$$

Keterangan:

$S_S$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek

$S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Koefisien nilai  $F_a$  dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.4 sedangkan koefisien nilai  $F_v$  dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.5

Tabel 3.4 Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_S$				
	$S_S = 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S = 1,25$
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:

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

Tabel 3.5 Koefisien situs,  $F_x$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1 detik, $S_I$				
	$S_I = 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$
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:

- (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 spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-21)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-22)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu gambar 1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

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

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-23)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus sama dengan  $S_{DS}$
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3-24)$$

Keterangan:

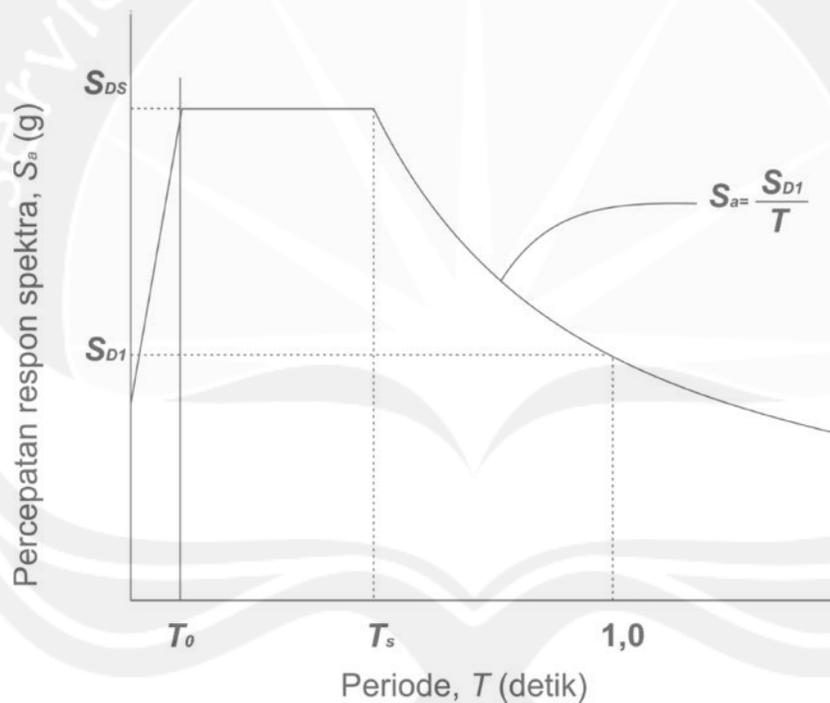
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

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

$T$  = perioda getar fundamental struktur

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

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



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain

### 3.2.4 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan ditetapkan pada perioda 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama

dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_I$  , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatannya, sesuai dengan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  yang dimiliki suatu situs.

Apabila  $S_I$  lebih kecil dari 0,75 , kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai melalui tabel 3.6 dan 3.7

Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
0,167 $S_{DS} < 0,33$	B	C
0,33 $S_{DS} < 0,50$	C	D
0,50 $S_{DS}$	D	D

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik

Nilai $S_{DI}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
0,167 $S_{DI} < 0,133$	B	C
0,133 $S_{DI} < 0,20$	C	D
0,20 $S_{DI}$	D	D

### 3.2.5 Penentuan Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis menentukan periode fundamental struktur,  $T$ , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan,  $T_a$ , dan tidak boleh melebihi hasil dari koefisien batasan atas ( $C_u$ ). Pada Tabel 3.8 pendekatan dapat ditentukan melalui persamaan:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-25)$$

Keterangan:

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 3.9

Tabel 3.8 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{DI}$	Koefisien $C_u$
0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
0,1	1,7

Tabel 3.9 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 dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika		

Tabel 3.9 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$  (lanjutan)

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
dikenai gaya 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 system struktur lainnya	0,0488	0,75

### 3.2.6 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

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

$$V = C_s W \quad (3-26)$$

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , ditentukan dari persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-27)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-28)$$

$C_s$  harus tidak kurang dari  $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$

Apabila yang berlokasi di daerah di mana  $S_I$  sama dengan atau lebih besar dari  $0,6g$  , maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-29)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

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

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda 1 detik

$T$  = perioda fundamental struktur (detik)

$S_1$  = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang ditetapkan

Dengan diperoleh nilai  $V$  , selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung distribusi gaya vertikal dengan persamaan:

$$F_x = C_{vx}V \quad (3-30)$$

Dan  $C_{vx}$  diperoleh dari persamaan:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-31)$$

Untuk distribusi horisontal digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-32)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

$w_1$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_1$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter (m)

$k$  = 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 lebih,  $k=2$   
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

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

### 3.3 Perencanaan Struktur Atas Beton Bertulang

#### 3.3.1 Kekuatan desain

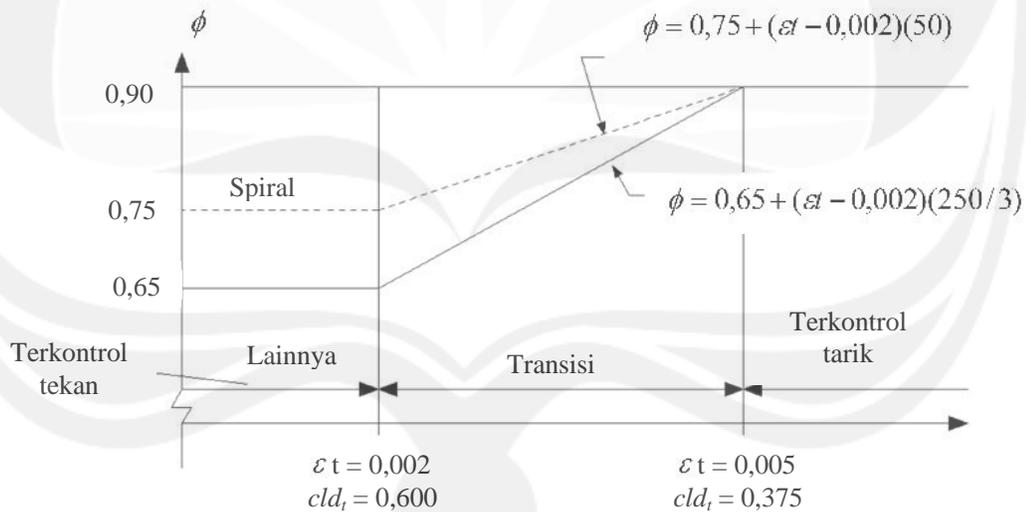
Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar yang sudah ada dan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

Tabel 3.10 Faktor Reduksi Kekuatan

Keterangan	
Penampang terkendali tarik	0,9
Penampang terkendali tekan	
(a) Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
(b) Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
Geser dan torsi	0,75
Tumpuan pada beton model strat dan pengikat	0,65
Daerah angkur pasca tarik	0,85
Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
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 $\emptyset$ boleh ditingkatkan secara linear dari	0,75 – 0,9

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.3, penjelasan mengenai penampang terkendali tarik dan tekan adalah sebagai berikut:

1. Penampang adalah terkendali tekan jika  $\epsilon_t \leq 0,002$ , untuk tulangan dengan mutu 420 MPa diijinkan untuk menetapkan batas regangan terkendali tekan sama dengan 0,002
2. Penampang adalah terkendali tarik jika  $\epsilon_t \geq 0,005$
3. Apabila penampang dengan  $\epsilon_t$  berada diantara batas regangan terkendali tekan dan tarik, maka membentuk transisi antara penampang terkendali tekan dan tarik yang dapat diperoleh melalui Gambar 3.2:



$$\begin{aligned} \text{Interpolasi pada } cld_t \text{ Spiral } w &= 0,75 + 0,15[(1/(cld_t)) - (5/3)] \\ \text{Lainnya } w &= 0,65 + 0,25[(1/(cld_t)) - (5/3)] \end{aligned}$$

Gambar 3.2 Variasi  $w$  dengan tegangan tarik neto dalam baja tarik terluar,  $\epsilon_t$ , dan  $cld_t$  untuk tulangan Mutu 420 dan untuk baja prategang

### 3.3.2 Perencanaan Kolom

#### 3.3.2.1 Pengaruh Kelangsingan Kolom

Pengaruh kelangsingan kolom boleh diabaikan dengan ketentuan, sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.10.1 sebagai berikut:

- (a) Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising terhadap goyangan menyamping

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-33)$$

- (b) Untuk komponen struktur tekan yang di-breising terhadap goyangan menyamping

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-34)$$

Keterangan:

$k$  = faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan

$l_u$  = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

$M_1$  = momen ujung terfaktor terkecil pada komponen struktur tekan

$M_2$  = momen ujung terfaktor terbesar pada komponen struktur tekan

Apabila pengaruh kelangsingan kolom tidak diabaikan maka desain komponen struktur tekan harus didasarkan pada gaya dan momen terfaktor sebesar  $0,70 I_g$

### 3.3.2.2 Desain Beban Aksial

Beban aksial yang diterima dari suatu kolom tidak boleh lebih besar dari  $P_n$  ( $_{max}$ ) yang dihitung melalui persamaan berikut:

1. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang memenuhi pasal 7.10.4 atau komponen struktur komposit

$$P_n(_{max}) = 0,85 [ 0,85f'_c ( A_g - A_{st} ) + f_y A_{st} ] \quad (3-35)$$

2. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat yang memenuhi pasal 7.10.5

$$P_n(_{max}) = 0,85 [ 0,85f'_c ( A_g - A_{st} ) + f_y A_{st} ] \quad (3-36)$$

Keterangan:

- = faktor reduksi kekuatan
- $f'_c$  = kekuatan beton yang disyaratkan
- $A_g$  = luas bruto penampang beton
- $A_{st}$  = luas total tulangan longitudinal non-prategang
- $f_y$  = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

### 3.3.2.3 Perencanaan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.1 perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan berikut:

$$V_n = V_u \quad (3-37)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-38)$$

Keterangan:

$V_u$  = gaya geser terfaktor

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser yang disambungkan oleh beton

$V_s$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser

Kekuatan geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur non-prategang diperhitungkan dengan ketentuan sebagai berikut, sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.2 :

1. Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'c} b_w d \quad (3-39)$$

2. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'c} b_w d \quad (3-40)$$

Bila  $V_u$  lebih besar dari  $V_n$  , maka tulangan geser harus diperhitungkan, dimana  $V_s$  dihitung dengan ketentuan sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2 sampai 11.4.7.9, dengan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (3-41)$$

Dan,  $V_s$  tidak boleh diambil lebih besar dari

$$0,66 \sqrt{f'c} b_w d \quad (3-42)$$

Sesuai dengan pasal 11.4.6.3 bahwa luas tulangan geser minimum disyaratkan melalui persamaan berikut:

$$A_{v \min} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (3-43)$$

Tapi, tidak boleh kurang dari:

$$A_{v \min} \geq \frac{0,35b_w w}{f_{yt}} \quad (3-44)$$

Keterangan:

- $V_c$  = 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

Sesuai dengan ketentuan pasal 21.6.4.2 untuk komponen struktur tekan, spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $\ell_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- (a) Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- (b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
- (c)  $s_o$  seperti didefinisikan oleh persamaan

$$s_0 = 100 + \left( \frac{300 - h_x}{3} \right) \quad (3-45)$$

Luas penampang total tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh persamaan berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-46)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \quad (3-47)$$

Keterangan:

$A_{sh}$  = luas penampang total tulangan transversal dalam spasi dan tegak lurus terhadap dimensi  $b_c$

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

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

$f_{yt}$  = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan

#### 3.3.2.4 Kekuatan lentur

SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 menjelaskan bahwa kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan:

$$\sum M_{nc} \quad (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-48)$$

Keterangan:

$M_{nc}$  = kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang rendah

$M_{nb}$  = kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka kedalam joint

### 3.3.3 Perencanaan Pelat

#### 3.3.3.1 Pelat Satu Arah

Tebal minimum pelat yang ditentukan berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan. (SNI 2847:2013)

Tabel 3.11 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal Minimum			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

CATATAN:  
 Panjang bentang dalam mm  
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut:

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $w_c$ , diantara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1,65-0,0003w_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09
- Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$

### 3.3.3.2 Pelat Dua Arah

Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:(SNI 2847:2013)

1. Pelat tanpa panel drop harus lebih besar dari 125 mm
2. Pelat dengan panel drop harus lebih besar dari 100 mm

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	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain  
 Untuk  $f_y$  antara lain yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier  
 Panel drop didefinisikan pada pasal 13.2.5  
 Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $f_m$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0.8

Untuk pelat dengan balok membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h_l$  harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk  $f_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan

Tabel 3.12

2. Untuk  $f_m$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0,  $h$  tidak

boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5s (r_{f_m} - 0,2)} \quad (3-49)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

3. Untuk  $f_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan plat minimum tidak

kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9s} \quad (3-50)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $f_m$  tidak kurang dari 0.8 atau sebagai alternative ketebalan minimum yang ditentukan pers (3-49) dan (3-50) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

### 3.3.4 Perencanaan Balok

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5, perencanaan elemen struktur balok adalah sebagai berikut:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen strutur,  $P_u$ , tidak boleh melebihi tinggi efektifnya
2. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $\ell_n$ , tidak boleh kurang dari empat kalitinggi efektifnya
3. Lebar komponen,  $b_w$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0,3h$  dan 250 mm.

#### 3.3.4.1 Penulangan Longitudinal Balok

Untuk menentukan luas tulangan tarik longitudinal digunakan rumus berikut:

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-51)$$

dan tidak lebih kecil dari

$$A_{s \min} = \frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (3-52)$$

Keterangan:

$A_s$  = luas tulangan Tarik longitudinal non-prategang

$b_w$  = lebar badan

$d$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan longitudinal

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan

#### 3.3.4.2 Penulangan Transversal Balok

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2, pada kedua ujung balok, sengkangharus disediakan sepanjang panjangnya tidak kurang dari  $2h$  diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama

harus ditempatkan tidak lebih 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari persyaratan berikut:

1.  $d/4$
2. delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
3. 24 kali diameter batang tulangan sengkang
4. 300mm sengkang harus dipastikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang balok.

### **3.3.5 Hubungan Balok-Kolom**

Faktor penting dalam menentukan kuat geser nominal hubungan balok-kolom adalah luas efektif dari hubungan balok-kolom. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1 hubungan balok-kolom yang dikekang oleh keempat sisinya, maka kuat geser nominal adalah sebesar  $1,7\sqrt{f'_c} A_j$ . Sedangkan balok-kolom yang terkekang di dua muka yang berlawanan, nominalnya adalah  $1,2\sqrt{f'_c} A_j$ .