

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Uraian Umum**

Struktur bangunan gedung terbagi menjadi dua yaitu struktur bawah (*sub structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan yang terletak di atas permukaan tanah meliputi kolom, balok, dinding geser, pelat lantai, dan tangga. Sedangkan struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah meliputi struktur *basement* dan pondasi.

Struktur bangunan beton bertulang yang mempunyai banyak lantai sangat mudah terjadi keruntuhan apabila tidak didesain dengan baik. Sehingga diperlukan desain struktur yang baik dan benar dalam memenuhi syarat kekuatan (*strenght*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), ekonomis (*economical*), dan umur rencana bangunan (*durability*).

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.1.1, struktur dan komponen struktur yang didesain harus memiliki kekuatan desain di semua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi sedemikian rupa seperti yang ditetapkan sesuai SNI.

#### **2.2 Pembebanan**

Pada desain struktur bangunan menggunakan klasifikasi beban antara lain:

##### **2.2.1 Beban Mati**

Beban mati merupakan berat struktur sendiri dan beban-beban tambahan yang bersifat tetap.

Sesuai SNI 1727:2013 Pasal 3.1.1 beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

### 2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban sementara, seperti beban yang berkerja terhadap bangunan hunian.

Sesuai SNI 1727:2013 Pasal 4.1 beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2.1 Beban Hidup Merata

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata (kN/m <sup>2</sup> )
Apartemen	1.92
Kantor	2.4
Koridor	4.79
Toko	3.59
Tangga dan Jalan Keluar	4.79

(Tabel 4-1 SNI 1727:2013, halaman 25-28)

### 2.2.3 Beban Angin

Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) gedung merupakan bangunan gedung dan struktur lain yang harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang disyaratkan sesuai SNI 1727:2013 Pasal 26 ~ 31.

Persyaratan untuk menentukan parameter dasar pada beban angin SPBAU dan K&K. Menggunakan parameter-parameter dasar sebagai berikut:

a. Kecepatan angin dasar,  $V$

Dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain menggunakan kecepatan angin dasar,  $V$ , yang telah ditentukan dari Instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur.

b. Faktor arah angin,  $K_d$ , lihat Pasal 26.6

Nilai faktor arah angin diambil dari tabel berikut:

Tabel 2.2 Faktor Arah Angin,  $K_d$

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin $K_d$
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0.85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0.90
Segi enam	0.95
Bundar	0.95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0.85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0.85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0.85
Penampang lainnya	0.95

(Tabel 26.6-1 SNI 1727:2013, halaman 50)

c. Kategori eksposur, lihat Pasal 26.7

Setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur lawan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun.

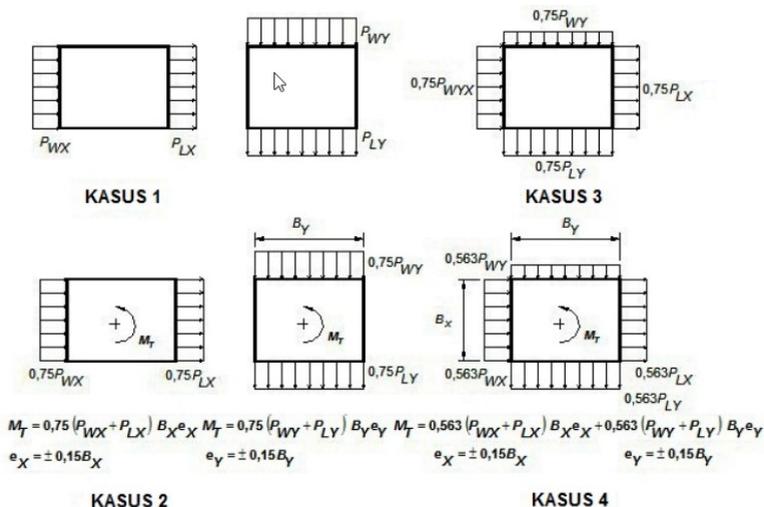
Penentuan kategori eksposur berdasarkan SNI 1727:2013 Pasal 26.7.1~4.

d. Faktor topografi,  $K_{zt}$ , lihat Pasal 26.8

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam SNI 1727:2013 Pasal 26.8.1, maka nilai factor topografi  $K_{zt} = 1.0$

- e. Faktor Pengaruh Tiupan Angin,  $G$ , lihat Pasal 26.9  
 Penentuan nilai factor pengaruh tiupan angin berdasarkan SNI 1727:2013 Pasal 26.9.1~7.
- f. Klasifikasi Ketertutupan, lihat Pasal 26.10  
 Penentuan klasifikasi ketertutupan berdasarkan SNI 1727:2013 Pasal 26.10.1~4.

SPBAU bangunan gedung dari semua ketinggian, beban angin yang telah ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 1727:2013 Pasal 27, harus didesain untuk kasus beban angin seperti ditetapkan dalam Gambar 2.1.



(SNI 1727:2013 Gambar 27.4-8)

Gambar 2.1 Kasus Beban Angin Desain

- Kasus 1 Tekanan penuh dari angin desain yang bekerja pada luasan terproyeksi tegak lurus terhadap setiap sumbu utama struktur, ditinjau secara terpisah di setiap sumbu utama.
- Kasus 2 Tiga per empat dari tekanan angin desain yang bekerja pada luasan terproyeksi tegak lurus terhadap setiap sumbu utama struktur yang bersamaan dengan momen torsi seperti yang diperlihatkan, ditinjau

secara terpisah untuk setiap sumbu utama.

- Kasus 3   Pembebanan angin seperti yang didefinisikan dalam Kasus 1, tetapi ditinjau bekerja bersama-sama pada 75% dari nilai yang ditentukan.
- Kasus 4   Pembebanan angin seperti yang didefinisikan dalam Kasus 2, tetapi ditinjau bekerja bersama-sama pada 75% dari nilai yang ditentukan.

#### **2.2.4 Beban Gempa**

Efek perusak dari gempa pada bangunan sudah dikenal sejak dahulu kala. Indonesia merupakan daerah yang berada pada tingkat resiko gempa yang tinggi, sebab wilayah Indonesia terletak pada jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Berdasarkan hal tersebut dalam desain struktur bangunan gedung harus mengikuti syarat dalam kegempaan yaitu SNI 1726:2012.

#### **2.2.5 Kuat Perlu**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 9.2.1 dijelaskan bahwa kekuatan perlu harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor sebagaimana kombinasi pembebanan dalam persamaan berikut:

- a. Kombinasi 1 (beban mati)  
 $U_1 = 1.4DL$
- b. Kombinasi 2 (beban mati + beban hidup)  
 $U_2 = 1.2DL + 1.6LL$
- c. Kombinasi 3 (beban mati + beban hidup + beban angin)  
 $U_3 = 1.2DL + 1.0LL + 1.0WL$
- d. Kombinasi 4~19 (beban mati + beban hidup + beban gempa)  
 $U = 1.2DL + 1.0LL + 1.0EQ$   
 $U = 0.9DL + 1.0EQ$

SNI 1726:2012 pasal 7.4 mengatur kombinasi beban gempa yang diperhitungkan sebagai berikut :

$$U_4 = (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL + 1.0\rho EQ_x + 0.3\rho EQ_y$$

$$\begin{aligned}
U_5 &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL + 1.0\rho EQ_x - 0.3\rho EQ_y \\
U_6 &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL - 1.0\rho EQ_x + 0.3\rho EQ_y \\
U_7 &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL - 1.0\rho EQ_x - 0.3\rho EQ_y \\
U_8 &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL + 0.3\rho EQ_x + 1.0\rho EQ_y \\
U_9 &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL + 0.3\rho EQ_x - 1.0\rho EQ_y \\
U_{10} &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL - 0.3\rho EQ_x + 1.0\rho EQ_y \\
U_{11} &= (1.2 + 0.2S_{DS})DL + 1.0LL - 0.3\rho EQ_x - 1.0\rho EQ_y \\
U_{12} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL + 1.0\rho EQ_x + 0.3\rho EQ_y \\
U_{13} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL + 1.0\rho EQ_x - 0.3\rho EQ_y \\
U_{14} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL - 1.0\rho EQ_x + 0.3\rho EQ_y \\
U_{15} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL - 1.0\rho EQ_x - 0.3\rho EQ_y \\
U_{16} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL + 0.3\rho EQ_x + 1.0\rho EQ_y \\
U_{17} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL + 0.3\rho EQ_x - 1.0\rho EQ_y \\
U_{18} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL - 0.3\rho EQ_x + 1.0\rho EQ_y \\
U_{19} &= (0.9 + 0.2S_{DS})DL - 0.3\rho EQ_x - 1.0\rho EQ_y
\end{aligned}$$

#### Keterangan

- U : kuat perlu
- DL : beban mati
- LL : beban hidup
- WL : beban angin
- $EQ_x$  : beban gempa arah x
- $EQ_y$  : beban gempa arah y
- $S_{DS}$  : parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
- $\rho$  : faktor redundansi

### 2.2.6 Kuat Rencana

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.3 menjelaskan bahwa 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 dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ).

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

No	Uraian	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1	Penampang terkendali tarik	0.9
2	Penampang terkendali tekan	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0.75
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0.65
3	Geser dan torsi	0.75
4	Tumpuan pada beton	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	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 $\phi$ boleh ditingkatkan secara linier	0.75 ~ 0.9

(SNI 2847: 2013 Pasal 9.3, halaman 66-67)





<ul style="list-style-type: none"> <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>		
<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 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	1.25

<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	1.50
---	----	------

(Tabel 1 dan 2 SNI 1726:2012, halaman 14-15)

### 2.3.3 Klasifikasi Situs

Sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 5.1 menjelaskan proses klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik pada struktur bangunan. Dalam menentukan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, maka situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Mengklasifikasikan situs pada profil tanah harus sesuai dengan

Tabel 2.5, sesuai dengan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penentuan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 2.5. Kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka hanya ahli geoteknik bersertifikat yang boleh menentukan sifat-sifat tanah dan menyiapkan laporan penyelidikan tanah sesuai kondisi geotekniknya.

Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/dtk)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 ~ 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 ~ 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 ~ 350	15 ~ 50	50 ~ 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>- Kadar air, <math>w \geq 40\%</math></li> <li>- Kuat geser niralir <math>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ul>		
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		

(Tabel 3 SNI 1726:2012, halaman 17-18)

Nilai  $\bar{N}$  didapatkan sesuai perumusan berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Keterangan

$d_i$  : tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 ~ 30 m

$N_i$  : tahanan penetrasi standar lapangan lapisan  $i$

### 2.3.4 Kategori Desain Seismik

Sesuai dengan SNI 1726:2012 kategori desain seismik menggunakan parameter percepatan respons spektral terhadap periode pendek seperti pada Tabel 2.6, apabila menggunakan parameter percepatan respons spektral terhadap periode 1 detik seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Menggunakan Nilai  $S_{DS}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	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 6 SNI 1726:2012, halaman 24)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Menggunakan Nilai  $S_{DI}$

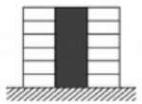
Nilai $S_{DI}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DI} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DI} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DI}$	D	D

(Tabel 7 SNI 1726:2012, halaman 25)

### 2.3.5 Sistem dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur yang menahan gaya lateral dan gravitasi harus menggunakan kategori desain seismik sesuai ketinggian struktur. Untuk memilih tipe-tipe sistem struktur dapat menggunakan Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS

Sistem Penahan Beban Lateral		Kategori Desain Seismik						R	$\Omega_0$	$C_d$	
		A	B	C	D	E	F				
 Dinding Penumpu	DGBB	TB	TB	TB	TI	TI	TI	4	2.5	4	
	DGBK	TB	TB	TB	48m	48m	30m	5	2.5	5	
 Sistem Rangka Gedung (beban gempa dipikul dinding geser)	DGBB	TB	TB	TB	TI	TI	TI	5	2.5	4.5	
	DGBK	TB	TB	TB	48m	48m	30m	6	2.5	5	
 Sistem Rangka Pemikul Momen	SRPMB	TB	TB	TI	TI	TI	TI	3	3	2.5	
	SRPMM	TB	TB	TB	TI	TI	TI	5	3	4.5	
	SRPMK	TB	TB	TB	TB	TB	TB	8	3	3.5	
 Sistem Ganda (25% beban gempa dipikul rangka pemikul momen)	SRPMM	DGBB	TB	TB	TB	TI	TI	TI	5.5	2.5	4.5
		DGBK	TB	TB	TB	48m	30m	30m	6.5	2.5	5
	SRPMK	DGBB	TB	TB	TB	TI	TI	TI	6	2.5	5
		DGBK	TB	TB	TB	TB	TB	TB	7	2.5	5.5

(Tabel 9 SNI 1726:2012, halaman 34-37)

#### Keterangan

DGBB : dinding geser beton biasa

DGBK : dinding geser beton khusus

SRPMB : sistem rangka pemikul momen biasa

SRPMM: sistem rangka pemikul momen menengah

SRPMK : sistem rangka pemikul momen khusus

TB : tidak dibatasi

TI : tidak diijinkan

### 2.3.6 Faktor Redundansi

Sistem penahan gaya lateral harus menggunakan faktor redundansi  $\rho$  pada kedua arah ortogonal untuk semua struktur berdasarkan kategori desain seismik dan kondisi lainnya seperti Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Nilai Faktor Redudansi

Kategori Desain Seismik	Faktor Redundansi $\rho$
B dan C	1.0
D, E, dan F	1.3

(SNI 1726:2012 Pasal 7.3.4, halaman 46-47)

### 2.3.7 Periode Fundamental Pendekatan

Arah yang ditinjau dalam periode alami struktur  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien batas atas terhadap periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 2.10 berikut ini:

Tabel 2.10 Koefisien Batas Atas Terhadap Periode

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

(Tabel 14 SNI 1726:2012, halaman 56)

Menghitung periode alami pendekatan  $T_a$  dalam satuan detik sesuai persamaan berikut:

$$T_a = C_t * h_n^x$$

Dimana  $h_n$  yaitu ketinggian struktur (meter) dari dasar sampai dengan tingkat tertinggi, pada koefisien  $C_t$  dan  $x$  menggunakan Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:	$C_t$	$x$
Rangka Baja Pemikul Momen	0.0724	0.80
Rangka Beton Pemikul Momen	0.0466	0.90
Rangka Baja dengan <i>Bracing</i> Eksentris	0.0731	0.75
Rangka Baja dengan <i>Bracing</i> terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua Sistem Struktur Lainnya	0.0488	0.75

(Tabel 15 SNI 1726:2012, halaman 56)

Periode alami struktur didapatkan dari hasil analisis struktur menggunakan software ( $T_c$ ), sehingga periode alami struktur yang digunakan ( $T$ ) harus menggunakan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Jika } T_c > C_u * T_a, \text{ maka } T = C_u * T_a$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u * T_a, \text{ maka } T = T_c$$

$$\text{Jika } T_c < T_a, \text{ maka } T = T_a$$

### 2.3.8 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar akibat beban lateral, pada arah yang ditetapkan harus menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s * W$$

Keterangan

$C_s$  : koefisien respons seismik

$W$  : berat efektif bangunan

Besaran koefisien respon seismik  $C_s$ , dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Menghitung nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi:

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

Namun tidak boleh melebihi:

$$C_s = 0.044 * S_{DS} * I_e \geq 0.01$$

Pada struktur-struktur yang berada pada daerah dengan nilai  $S_I$  sama dengan atau lebih besar dari 0.6g, nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0.5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan

- $C_s$  : koefisien respons seismik
- $S_{DS}$  : parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek 0,2 detik
- $R$  : faktor modifikasi respons yang dicantumkan pada Tabel 2.8
- $I_e$  : faktor keutamaan yang dicantumkan pada Tabel 2.4

Berat efektif bangunan  $W$ , harus terdiri dari beban mati dan beban lainnya sebagai berikut:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan

tidak melebihi 5 persen dari berat efektif bangunan pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).

2. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar  $0.48 \text{ kN/m}^2$ .
3. Berat operasional total dari alat permanen.
4. Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

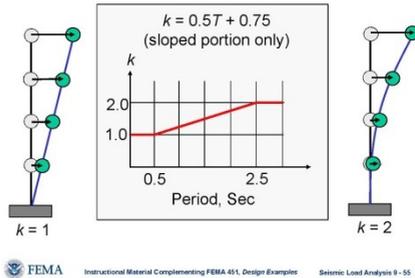
Setelah menghitung gaya geser dasar seismik dan mendistribusikan ke semua tingkat menjadi gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang besarnya ditentukan berikut:

$$F_x = C_{vx} * V$$
$$C_{vx} = \frac{W_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i^k}$$

#### Keterangan

- $C_{vx}$  : faktor distribusi lateral
- $V$  : gaya geser dasar seismik
- $W_i, W_x$  : bagian berat efektif bangunan efektif total struktur
- $h_i, h_x$  : tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$
- $k$  : eksponen yang terkait dengan periodestruktur

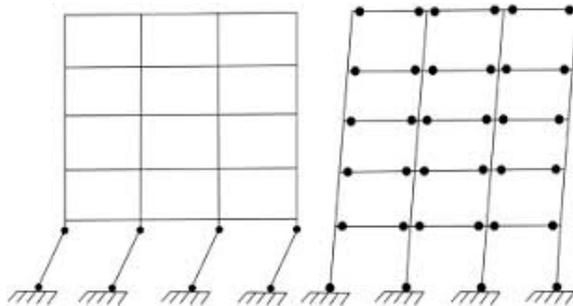
### **k** accounts for Higher Mode Effects



Gambar 2.5 Eksponen Terkait dengan Periode Struktur

### **2.3.9 Mekanisme Kerja Strong Column-Weak Beam**

Daerah yang rawan terhadap gaya lateral pada struktur adalah hubungan antara kolom dan balok. Ketika struktur terkena gaya lateral gempa, maka distribusi keruntuhan pada ketinggian gedung bertumpu terhadap simpangan antar lantai. Jika struktur memiliki kolom yang lebih lemah dari balok, maka simpangan antar lantai akan bertumpu pada satu lantai saja (*soft story effect*). Jika balok lebih lemah dari kolom (*strong column-weak beam*), maka simpangan antar lantai akan menjalar merata pada seluruh lantai dan keruntuhan pada satu lantai bisa diminimalkan.



Gambar 2.6 Strong Column-Weak Beam

### 2.3.10 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Ketentuan kinerja batas layan dan *ultimate* diambil dari SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6, untuk defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) harus dihitung sesuai persamaan berikut ini:

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

Keterangan

$\delta_x$  : defleksi pusat massa di tingkat  $x$

$C_d$  : faktor amplifikasi defleksi pada Tabel 2.8

$\delta_{xe}$  : defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  : faktor keutamaan yang dicantumkan pada Tabel 2.4

Nilai  $\delta_x$  ini dibatasi oleh  $\Delta_d$  yang diambil sebesar 0.020  $h_{sx}$  dimana  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ . Ketentuan ini dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Ijin

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 $h_{sx}$ <sup>c</sup>	0.020 $h_{sx}$	0.015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	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 $h_{sx}$

(Tabel 16 SNI 1726:2012, halaman 66)

### 2.3.11 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta menghasilkan geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur, serta simpangan antar lantai tingkat yang

terjadi karena pengaruh tersebut tidak disyaratkan untuk dihitung bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) sesuai persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0.10:

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

Keterangan

- $P_x$  : beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat  $x$ , dinyatakan dalam kilo newton(kN)
- $\Delta$  : simpangan antar lantai tingkat desain seperti didefinisikan dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6
- $I_e$  : faktor keutamaan yang dicantumkan pada Tabel 2.4
- $V_x$  : gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat  $x$  dan  $x-1$  (kN)
- $h_{sx}$  : tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ , dinyatakan dalam milimeter (mm)
- $C_d$  : faktor amplifikasi defleksi pada Tabel 2.8

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh lebih dari  $\theta_{max}$  sesuai persamaan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta * C_d} \leq 0.25$$

untuk  $\beta$  merupakan rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat  $x$  dan  $x-1$ . Secara konservatif mengambil sebesar 1.0 untuk mengijinkan sebagai nilai rasio.

### 2.3.12 Ketidakberaturan Horisontal

Ketidakteraturan horisontal terjadi apabila struktur bangunan gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan sesuai yang ada dalam Tabel 2.13. Desain struktur untuk kategori desain seismik sebagaimana yang ada pada Tabel 2.13 harus merujuk pasal-pasal dalam tabel tersebut untuk memenuhi persyaratan.

Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horisontal Struktur

	Tipe Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	<b>Ketidakberaturan Torsi</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	<b>Ketidakberaturan Torsi Berlebihan</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2	<b>Ketidakberaturan Sudut Dalam</b> didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
3	<b>Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma</b> didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F

	mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.		
4	<b>Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang</b> didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	<b>Ketidakberaturan Sistem Nonparalel</b> didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Tabel 10 SNI 1726:2012, halaman 45)

### 2.3.13 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal terjadi apabila struktur bangunan gedung yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan sesuai yang ada dalam Tabel 2.14. Desain struktur untuk kategori desain seismik sebagaimana yang ada pada Tabel 2.14 harus merujuk pasal-pasal dalam tabel tersebut untuk memenuhi persyaratan.

Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal Struktur

	Tipe Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F

1b	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
2	<b>Ketidakberaturan Berat (Massa)</b> didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 13	D, E, dan F
3	<b>Ketidakberaturan Geometri Vertikal</b> didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, dan F
4	<b>Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal</b> didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat</b> didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E, dan F D, E, dan F
5b	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan</b>	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

	didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.		
--	---	--	--

(Tabel 11 SNI 1726:2012, halaman 46)

## 2.4 Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas yang didesain meliputi beberapa bagian seperti Pelat Lantai, Balok, Kolom, dan Dinding Geser. Desain struktur atas sesuai dengan SNI 2847:2013 yaitu persyaratan beton structural untuk bangunan gedung. Elemen struktur yang didesain harus memenuhi syarat Kuat Rencana  $\geq$  Kuat Perlu. Sedangkan elemen struktur yang memikul momen lentur, gaya geser dan gaya aksial maka menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$\emptyset V_n \geq V_u$$

$$\emptyset P_n \geq P_u$$

Keterangan

$M_n$  : momen lentur rencana

$M_u$  : momen lentur perlu

$V_n$  : gaya geser rencana

$V_u$  : gaya geser perlu

$P_n$  : gaya aksial rencana

$P_u$  : gaya aksial perlu

Sistem Ganda merupakan salah satu sistem struktur dimana rangka memikul sepenuhnya beban, sedangkan rangka dan dinding geser memikul beban lateralnya. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1 menjelaskan untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Kombinasi rangka

pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing harus mampu menahan gaya gempa dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Karena rangka dan dinding geser pada sistem ganda adalah satu kesatuan struktur, maka keduanya harus mampu mengalami defleksi lateral yang sama atau paling tidak rangka mampu mengikuti defleksi lateral yang terjadi.

Menurut SNI:1726 2012 pasal 3.53 menjelaskan SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan gempa yang mengakibatkan beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus pada beton yang dicor di tempat diatur dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5 hingga pasal 21.7. Sedangkan SNI 2847:2013 pasal 21.9 mengatur tentang Dinding Struktur Beton Khusus.

#### **2.4.1 Pelat Lantai**

##### **1. Penentuan Jenis Pelat**

Jenis pelat terbagi dua yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

###### **a. Pelat Satu Arah**

Pelat satu arah merupakan pelat yang didukung dua tumpuan pada sisi yang berhadapan sehingga lendutan terjadi dalam satu arah. Untuk menentukan rasio bentang pelat satu arah menggunakan rumus:

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2$$

###### **b. Pelat Dua Arah**

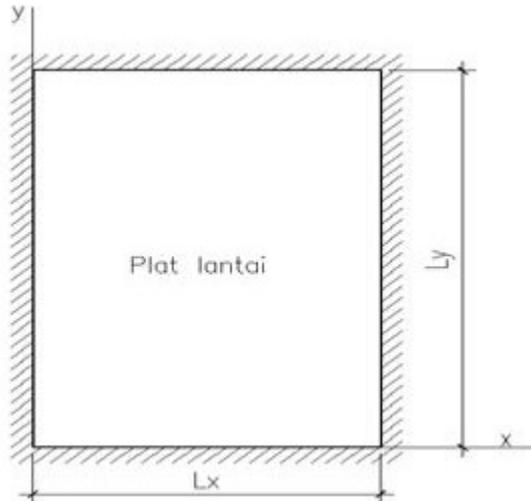
Pelat dua arah merupakan pelat yang bertumpu pada empat sisi tepinya, sehingga lendutan terjadi dalam dua arah. Menentukan rasio bentang pelat dua arah menggunakan rumus:

$$1 < \frac{L_y}{L_x} < 2$$

Keterangan

$L_y$  : panjang arah y (terpanjang)

$L_x$  : panjang arah x (terpendek)



Gambar 2.7 Rasio Bentang Pelat Lantai

## 2. Desain Pelat Satu Arah

Persyaratan SNI 2847:2013 menjelaskan beberapa syarat desain pelat satu arah:

- Konstruksi satu arah non-prategang atau pelat satu arah diatur sesuai SNI 2847:2013 Pasal 9.5.2.
- Menentukan tebal minimum pelat satu arah tanpa menghitung lendutan telah diatur sesuai Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Tebal Minimum Pelat Satu Arah Bila Tanpa Menghitung Lendutan

Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Pelat Masif Satu Arah	$L/20$	$L/24$	$L/28$	$L/10$

Pelat Rusuk Satu Arah	$L/16$	$L/18,5$	$L/21$	$L/8$
-----------------------	--------	----------	--------	-------

(Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013, halaman 70)

Apabila  $f_y$  selain 400 MPa, maka nilai pada Tabel 2.15 harus dikalikan dengan  $\{0.4 + (f_y/700)\}$ .

- c. Apabila lendutan harus dihitung, maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban, harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2.
- d. Selimut beton pada struktur pelat minimal 20 mm, untuk pelat yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca dan tanah.
- e. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 8.3.3 untuk alternatif analisis rangka, momen dan geser pendekatan untuk perancangan pelat satu arah menerus harus memenuhi persyaratan:
  - Memiliki 2 bentang atau lebih
  - Bentang-bentangnya mendekati sama, dengan bentang lebih besar dari 2 bentang yang bersebelahan tidak lebih besar dari yang bentang lebih pendek dengan lebih dari 20%
  - Distribusi beban merata
  - Beban hidup (LL) tak terfaktor, tidak lebih dari 3 kali beban mati (DL) tak terfaktor
  - Komponen struktur merupakan prismatis
 Menggunakan metode koefisien, momen dan geser maksimum dihitung:

$$M_u = C_m * q_u * l_n^2$$

$$V_u = C_v \frac{q_u * l_n}{2}$$

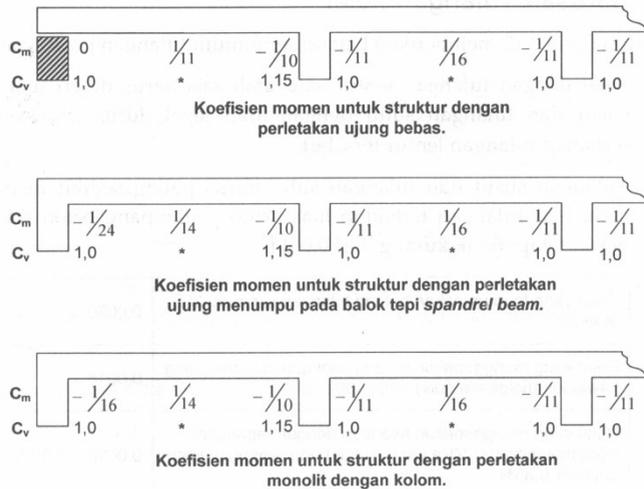
Keterangan

$C_m$  : koefisien momen

$C_v$  : koefisien geser

$q_u$  : kombinasi beban mati dan hidup terfaktor

$l_n$  : nilai rata-rata bentang bersih



Gambar 2.8 Koefisien Momen dan Geser SNI 2847:2013  
Pasal 8.3.3

- f. Tulangan susut dan suhu minimal memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton seperti pada Tabel 2.16 tetapi tidak kurang dari 0.0014.

Tabel 2.16 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat

Pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan mutu $f_y = 280$ atau $350$ MPa	$0.002 * b * h$
Pelat yang menggunakan tulangan ulir atau jaring kawat las dengan mutu $f_y = 420$ MPa	$0.0018 * b * h$
Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan luluh melebihi $420$ MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar $0,35\%$	$0.0018 \frac{420}{f_y} b * h$

- g. Jarak antar tulangan  $s$ , dapat menggunakan perhitungan sesuai persamaan:

$$s = \frac{1000A_b}{A_s}$$

Keterangan

$s$  : jarak antar tulangan (mm)

$A_b$  : luas bruto (mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : luas aktual (mm<sup>2</sup>)

- h. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu adalah:
- Tulangan utama, diambil nilai terkecil  
 $s \leq 3h$  ( $h$  : tebal pelat)  
 $s \leq 450$  mm
  - Tulangan susut dan suhu, diambil nilai terkecil  
 $s \leq 3h$  ( $h$  : tebal pelat)  
 $s \leq 450$  mm

### 3. Desain Pelat Dua Arah

Persyaratan SNI 2847:2013 menjelaskan beberapa syarat desain pelat dua arah:

- a. Konstruksi dua arah non-prategang atau pelat dua arah diatur sesuai SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.
- b. Tebal minimum tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisi harus memenuhi persyaratan pada Tabel 2.17 namun tidak boleh kurang dari:
  - Tanpa drop panel tebal 125 mm (SNI 2847:2013 Pasal 13.2.5)
  - Dengan drop panel tebal 100 mm (SNI 2847:2013 Pasal 13.2.5)

Tabel 2.17 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	$Ln/33$	$Ln/36$	$Ln/36$	$Ln/36$	$Ln/40$	$Ln/40$
420	$Ln/30$	$Ln/33$	$Ln/33$	$Ln/33$	$Ln/36$	$Ln/36$
520	$Ln/33$	$Ln/28$	$Ln/31$	$Ln/31$	$Ln/34$	$Ln/34$

(Tabel 9.5(c) SNI 2847:2013, halaman 72)

- c. Tebal pelat minimum dengan balok membentang diantara tumpuan pada semua sisi dengan tebal minimum  $h$ , harus memenuhi persyaratan berikut ini:
- Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0.2$  menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.2 atau sesuai ketentuan dalam Tabel 2.17.
  - Untuk  $\alpha_{fm} \geq 0.2 \leq 2$ , ketebalan pelat minimum harus tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5 * \beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$$

Dan juga tidak boleh kurang dari 125 mm

- Untuk  $\alpha_{fm} > 2$ , ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5 * \beta}$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0.8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan diatas harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus sesuai SNI 2847:2013.

- Pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang disyaratkan, boleh digunakan apabila dapat menunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas lendutan pada Tabel 2.17
- d. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.5.1 Pada setiap penampang komponen struktur lentur sesuai analisis memerlukan tulangan tarik, kecuali yang ditentukan dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.5.2, 10.5.3 dan 10.5.4  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

$$A_{s \min} = \frac{0.25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w * d$$

dan tidak lebih kecil dari

$$A_{s \min} = \frac{1.4 b_w * d}{f_y}$$

- e. Perhitungan tulangan susut dan suhu sama dengan pelat satu arah

### 2.4.2 Balok

Balok harus memenuhi kriteria komponen struktur lentur sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.5, menjelaskan syarat yang harus dipenuhi komponen struktur lentur SRPMK sebagai berikut:

- a. Komponen struktur menerima gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$ , harus maksimum  $A_g f_c' / 10$
- b. Komponen struktur harus memiliki bentang bersih  $l_n$ , harus minimal empat kali tinggi efektifnya
- c. Lebar komponen  $b_w$ , tidak boleh kurang dari minimal  $0.3h$  dari 250 mm

#### 1. Tebal Minimum Balok

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 9.5, menjelaskan dalam menentukan tinggi minimum balok sebagai berikut:

Tabel 2.18 Tebal Minimum Balok

Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Balok	$L/16$	$L/18.5$	$L/21$	$L/8$

(Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013, halaman 70)

## 2. Tulangan Longitudinal

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2, beberapa syarat yang harus dipenuhi tulangan longitudinal sebagai berikut:

- a. Jumlah tulangan atas maupun tulangan bawah tidak boleh kurang dari:

$$A_{s \min} = \frac{0.25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w * d$$

Tetapi tidak boleh yang terkecil dari :

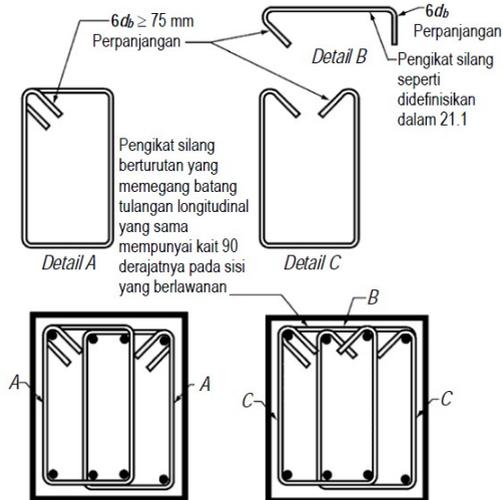
$$A_{s \min} = \frac{1.4 b_w * d}{f_y}$$

Dengan rasio tulangan,  $\rho$  maksimal 0.025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

- b. Kekuatan momen positif pada muka *joint* minimal setengah kekuatan momen negatif pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan momen positif maupun negatif sepanjang komponen struktur minimal seperempat kekuatan momen maksimum pada salah satu *joint*.

## 3. Tulangan Transversal

Daerah komponen struktur rangka harus memasang sengkang tertutup berikut:



(SNI 2847:2013 Gambar S21.5.3)

Gambar 2.9 Tulangan Transversal Pada Balok

- Pada jarak dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
- Pada jarak dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3.2 penempatan sengkang tertutup pertama harus tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu, dengan spasi sengkang,  $s$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4$
- Enam kali diameter terkecil tulangan lentur utama
- 150 mm

Bila tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang komponen struktur.

#### 4. Tulangan Torsi

Komponen struktur non prategang harus memperhitungkan pengaruh torsi apabila memenuhi persamaan berikut:

$$T_u > \phi 0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

jika komponen struktur memerlukan tulangan torsi, maka harus memenuhi persamaan berikut

$$\phi T_n \geq T_u$$

$T_n$  harus dihitung dengan

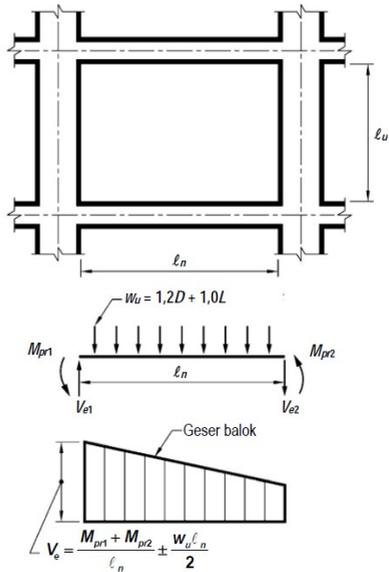
$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

besarnya nilai  $A_t$  disumbangkan ke lentur dan geser pada komponen struktur yang memikul momen dan geser. Untuk perhitungan torsi pada komponen struktur lentur yang memikul momen,  $A_t$  dengan persamaan

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

#### 5. Kekuatan Geser

Penentuan gaya geser desain  $V_c$ , harus meninjau gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka *joint*, dengan mengasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur  $M_{pr}$ , yang mungkin bekerja pada muka *joint* dan beban gravitasi tributari terfaktor membebani komponen struktur sepanjang bentang.



(SNI 2847:2013 Gambar S21.5.4)

Gambar 2.10 Geser Desain untuk Balok

Keterangan

$M_{pr}$ : momen lentur

$V_c$  : gaya geser desain

$W_u$  : beban terfaktor persatuan panjang balok

$L_n$  : bentang bersih

### 2.4.3 Kolom

Desain kolom SRPMK harus memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6 adalah sebagai berikut:

- Gaya tekan aksial terfaktor minimal  $A_g f_c' / 10$
- Dimensi penampang terpendek diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri minimal 300 mm
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus minimal 0.4

### 1. Dimensi Kolom

Dimensi kolom dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{0.35 * f_c'}$$

Keterangan

A = luas penampang kolom

W = beban aksial yang diterima kolom

$f_c'$  = kuat tekan beton karakteristik

### 2. Beban Aksial

Dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6, persamaan kolom dengan sengkang persegi adalah sebagai berikut:

$$\phi P_{n(max)} = 0.85\phi[0.85 * f_c'(A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}]$$

### 3. Rasio Kelangsingan

Suatu elemen struktur dapat dikategorikan sebagai kolom pendek atau kolom panjang. Jenis kolom dapat ditentukan melalui rasio kelangsingan kolom tersebut. Persyaratan dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1 yang menyatakan bahwa efek kelangsingan boleh diabaikan untuk:

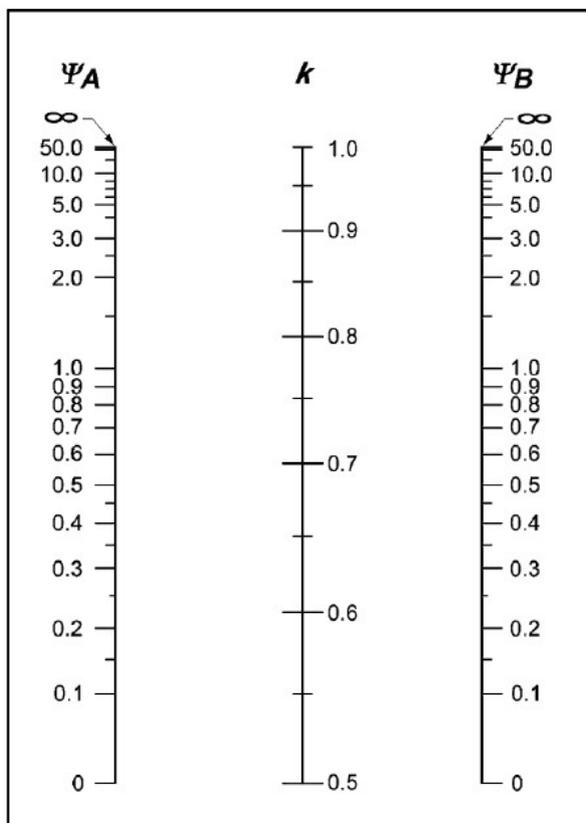
a. Elemen struktur tekan bergoyang, apabila:

$$\frac{k * l_u}{r} \leq 22$$

b. Elemen struktur tekan tak bergoyang, apabila:

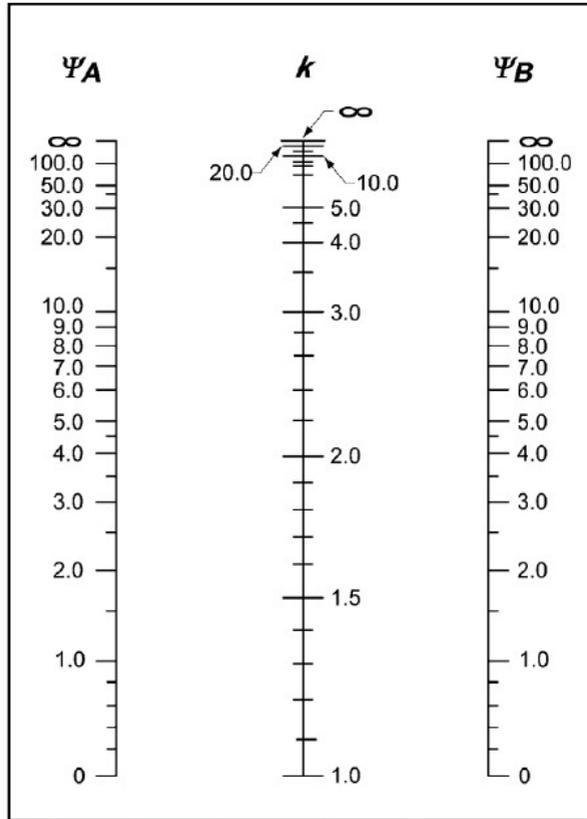
$$\frac{k * l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M1}{M2} \right) \leq 40$$

Penentuan nilai k bisa menggunakan Gambar 2.11 dan Gambar 2.12 sebagai berikut:



(SNI 2847:2013 Gambar S10.10.1.1)

Gambar 2.11 Nilai  $k$  Rangka Tidak Bergoyang



(SNI 2847:2013 Gambar S10.10.1.1)

Gambar 2.12 Nilai k Rangka Bergoyang

#### 4. Kuat Lentur

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.2.2 tentang syarat “*strong column weak beam*”:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1.2)\Sigma M_{nb}$$

$\Sigma M_{nc}$  merupakan 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 yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\Sigma M_{nb}$  merupakan jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint* yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

## 5. Tulangan Longitudinal

Luas tulangan memanjang  $A_{st}$  harus minimal  $0.01 A_g$  atau maksimal  $0.06 A_g$ .

## 6. Tulangan Transversal

Pemasangan tulangan *transversal* sepanjang  $l_0$  dari setiap muka *joint* pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang  $l_0$  harus minimal yang terbesar dari:

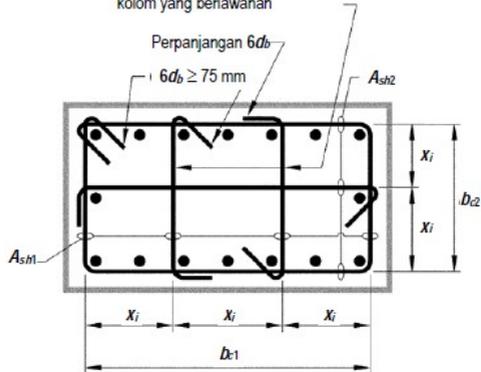
- Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi
- Seperenam bentang bersih komponen struktur
- 450 mm

Spasi tulangan *transversal* sepanjang  $l_0$  harus maksimal yang terkecil dari:

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil
- $s_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$

Nilai  $s_0$  maksimal 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm. Penentuan jumlah tulangan *transversal* sebagai berikut:

Pengikat silang berturutan yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi kolom yang berlawanan



Dimensi  $x_i$  dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus  $x_i$  yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari  $x_i$ .

(SNI 2847:2013 Gambar S21.6.4.2)

Gambar 2.13 Tulangan Transversal Pada Kolom

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat,  $\rho_s$  harus minimal:

$$\rho_s = 0.12 \left( \frac{f_c'}{f_{yt}} \right)$$

dan tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

- b. Luas penampang tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$  harus minimal:

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s * b_c * f_c'}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0.09 \left( \frac{s * b_c * f_c'}{f_{yt}} \right)$$

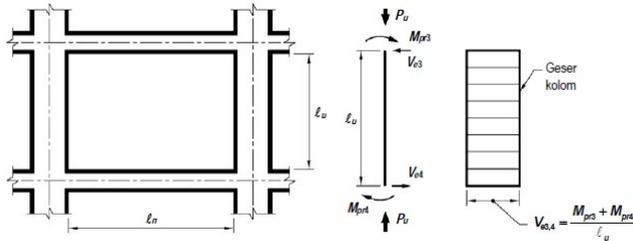
## 7. Kekuatan Geser

Penentuan gaya geser desain  $V_c$ , harus ditinjau terhadap gaya-gaya maksimum yang dihasilkan di muka-muka *joint* di setiap ujung komponen struktur. Menentukan gaya-gaya *joint* harus 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. Dalam semua kasus  $V_c$  harus minimal dari gaya geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur. Tulangan *transversal* sepanjang  $l_0$  diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ , bilamana:

- Gempa menimbulkan gaya geser yang mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_0$
- Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$  termasuk pengaruh gaya gempa kurang dari  $A_g \cdot f_c / 10$ .

Jika harus dihitung, maka:

$$A_{sh} = 0.17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_w * d$$



(SNI 2847:2013 Gambar S21.5.4)

Gambar 2.14 Geser Desain untuk Kolom

Keterangan

$A_{st}$  : luas total tulangan longitudinal non-prategang

$A_{sh}$  : luas penampang total tulangan *transversal*

$h_x$  : spasi horizontal kait silang pusat

$N_u$  : gaya aksial terfaktor tegak lurus penampang diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik

### 8. *Joint* Rangka Momen Khusus

- a. Menentukan gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka *joint* harus dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur  $1.25 f_y$
- b. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok harus minimal 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar.
- c.  $V_n$  tidak boleh diambil sebagai maksimal dari nilai :
  - Untuk balok-balok yang mengekang *joint* pada semua empat muka

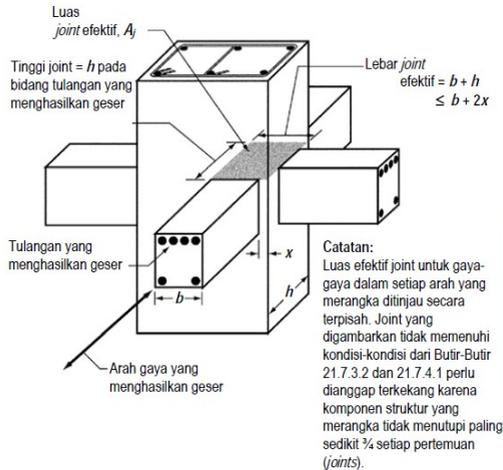
$$V_n = 1.7\sqrt{f_c'}A_j$$

- Untuk balok-balok yang mengekang *joint* pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan

$$V_n = 1.2\sqrt{f_c'}A_j$$

- Untuk kasus-kasus lainnya

$$V_n = 1.0\sqrt{f_c'}A_j$$



(SNI 2847:2013 Gambar S21.7.4)

Gambar 2.15 Luas Joint Efektif

#### 2.4.4 Dinding Struktural

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 14.3, menjelaskan persyaratan penulangan dinding harus memenuhi sebagai berikut:

- a. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton:
  - 0.0012 untuk batang tulangan ulir maksimal ukuran D16 dengan  $f_y$  minimal 420 MPa; atau
  - 0.0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - 0.0012 untuk tulangan kawat las maksimal ukuran D16
- b. Rasio minimum luas tulangan horisontal terhadap luas bruto beton:
  - 0.0020 untuk batang tulangan ulir maksimal ukuran D16 dengan  $f_y$  minimal 420 MPa; atau
  - 0.0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - 0.0020 untuk tulangan kawat las maksimal ukuran D16

- c. Dinding lebih tebal dari 250 mm, kecuali dinding *basement*, harus memasang tulangan untuk setiap arah dalam dua lapis sejajar dengan muka dinding sesuai dengan berikut:
  - Satu lapis tidak kurang dari setengah dan tidak lebih dari dua pertiga tulangan total yang dibutuhkan untuk setiap arah harus ditempatkan tidak kurang dari 50 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan eksterior.
  - Lapis lainnya, sisa tulangan yang diperlukan dalam arah tersebut, harus ditempatkan tidak kurang dari 20 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan interior.
- d. Tulangan vertikal tidak perlu dilingkupi oleh pengikat *transversal* bila luas tulangan vertikal harus maksimal 0.01 kali luas beton bruto, atau bila tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan.
- e. Sebagai tambahan untuk tulangan minimum yang disyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 14.3.1, tidak kurang dari dua batang tulangan D16 pada dinding yang mempunyai dua lapis tulangan dan satu tulangan D16 untuk dinding dengan satu lapis tulangan dalam kedua arah, harus disediakan mengelilingi jendela, pintu, dan bukaan dengan ukuran serupa. Batang tulangan tersebut harus diangkur untuk mengembangkan  $f_y$  dalam kondisi tarik pada sudut-sudut bukaan.

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.9, dalam merencanakan Dinding Geser Beton Khusus (DGBK) dalam memikul gaya gempa harus memenuhi syarat sebagai berikut:

### 1. Tulangan

- a. Rasio tulangan badan (web) terdistribusi,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$ , untuk dinding struktur harus minimal 0.0025, kecuali bahwa jika  $V_u$  tidak melebihi  $0.083\lambda A_{cv}\sqrt{f'_c}$ ,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  diizinkan untuk direduksi menjadi nilai-nilai yang disyaratkan dalam SNI 2847:2013 Pasal 14.3. Spasi tulangan untuk masing- masing

arah pada dinding struktur tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang menyumbang pada  $V_n$  harus menerus dan harus didistribusikan melintasi bidang geser.

- b. Dinding harus menggunakan paling sedikit dua tirai tulangan jika  $V_u$  melebihi  $0.17A_{cv}\lambda\sqrt{f_c}'$
- c. Tulangan pada dinding struktur harus disalurkan atau disambung untuk  $f_y$  dalam kondisi tarik sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 12, kecuali:
  - Tinggi efektif komponen struktur yang dirujuk dalam SNI 2847:2013 Pasal 12.10.3 diizinkan diambil sebesar  $0,08l_w$  untuk dinding.
  - Persyaratan dari SNI 2847:2013 Pasal 12.11, 12.12, dan 12.13 tidak perlu dipenuhi.
  - Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal sepertinya terjadi sebagai akibat perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus sebesar 1.25 kali nilai yang dihitung untuk  $f_y$  dalam kondisi tarik.
  - Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.1.6 dan sambungan las tulangan harus memenuhi Pasal 21.1.7.

## 2. Gaya Desain

$V_u$  harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor sesuai SNI 2847:2013.

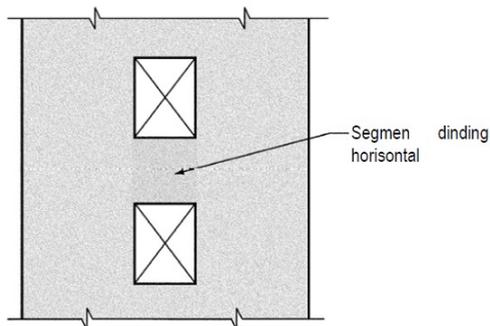
## 3. Kekuatan Geser

- a.  $V_n$  dinding struktur harus maksimal

$$V_n = A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f_c}' + \rho_t f_y \right)$$

- b. Pada poin a di atas, nilai rasio  $h_w/l_w$  yang digunakan untuk menentukan  $V_n$  untuk segmen-segmen dinding harus yang lebih besar dari rasio-rasio untuk dinding keseluruhan dan segmen dinding yang ditinjau.

- c. 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 tidak boleh kurang dari rasio tulangan  $\rho_t$ .
- d. Untuk semua segmen dinding vertikal yang menahan gaya lateral yang sama, kombinasi  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0.66A_{cv}\sqrt{f_c}'$ , dimana  $A_{cv}$  adalah luas kombinasi bruto dari semua segmen dinding vertikal. Untuk salah satu dari segmen dinding vertikal individu,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0.83A_{cw}\sqrt{f_c}'$ , dimana  $A_{cw}$  adalah luas penampang beton dari segmen dinding vertikal individu yang ditinjau.
- e. Untuk segmen dinding horizontal, termasuk balok kopel,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0.83A_{cw}\sqrt{f_c}'$ , dimana  $A_{cw}$  adalah luas penampang beton suatu segmen dinding horizontal atau balok kopel (Gambar 2.14).



(SNI 2847:2013 Gambar S21.9.4.5)

Gambar 2.16 Dinding dengan Bukaan

#### 4. Desain untuk Beban Lentur dan Aksial

- a. Dinding struktur dan bagian-bagian dari dinding tersebut yang dikenai kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sesuai SNI 2847:2013 Pasal 10.2 dan 10.3 kecuali bahwa Pasal 10.3.6 dan persyaratan regangan nonlinier dari

Pasal 10.2.2 tidak berlaku. Beton dan tulangan longitudinal yang disalurkan dalam lebar sayap (*flange*) efektif, elemen pembatas, dan badan (*web*) dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus ditinjau.

- b. Kecuali bila analisis yang lebih detail dilakukan, lebar sayap (*flange*) efektif dari penampang sayap (*flange*) harus menerus dari muka badan (*web*) suatu jarak yang samadengan yang lebih kecil dari setengah jarak ke badan (*web*) dinding yang bersebelahan dan 25 persen tinggi dinding total.

## 5. Elemen Pembatas Dinding Struktur Khusus

- a. Kebutuhan untuk elemen pembatas khusus di tepi-tepi dinding struktur harus dievaluasi sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.2 atau Pasal 21.9.6.3. Persyaratan dari Pasal 21.9.6.4 dan Pasal 21.9.6.5 juga harus dipenuhi.
- b. Sub pasal ini berlaku untuk dinding atau pier dinding yang secara efektif menerus dari dasar struktur sampai sisi paling dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial. Dinding yang tidak memenuhi persyaratan-persyaratan ini harus didesain sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.3.
  - Daerah tekan harus diperkuat dengan dengan elemen pembatas khusus dimana

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

*c* dalam SNI 2847:2013 Persamaan (21-8) berkaitan dengan sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan perpindahan desain  $\delta_u$ . Rasio  $\delta_u/h_w$  dalam SNI 2847:2013 Persamaan (21-8) tidak boleh diambil kurang dari 0,007

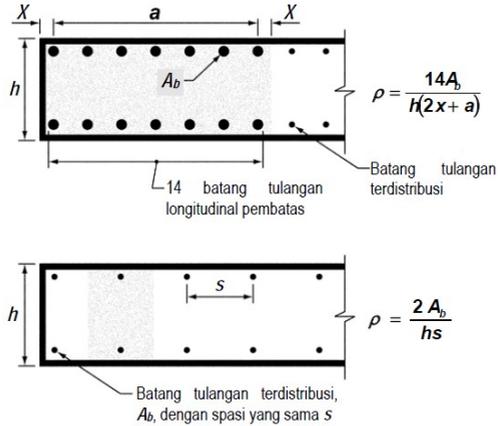
- Bila elemen pembatas khusus disyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.2(a), tulangan elemen pembatas

khusus harus menerus secara vertikal dari penampang kritis suatu jarak tidak kurang dari yang lebih besar dari  $l_w$  atau  $M_u/4V_u$ .

- c. Dinding struktur yang tidak didesain terhadap ketentuan-ketentuan dari poin 2 harus memiliki elemen pembatas khusus pada batas-batas dan tepi-tepi sekeliling bukaan dinding struktur dimana tegangan tekan serat terjauh maksimum, terkait dengan kombinasi beban termasuk pengaruh gempa,  $E$ , melebihi  $0.2f_c'$ . Elemen pembatas khusus diizinkan untuk dihentikan dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari  $0.15f_c'$ . Tegangan-tegangan harus dihitung untuk gaya-gaya terfaktor menggunakan model elastis linier dan sifat penampang bruto. Untuk dinding dengan sayap (*flange*), lebar sayap (*flange*) efektif seperti didefinisikan dalam no4 poin b harus digunakan.
- d. Bila elemen pembatas khusus disyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.2 atau Pasal 21.9.6.3, maka poin di bawahini harus dipenuhi:
  - Elemen pembatas harus menerus secara horisontal dari serat tekan terluar suatu jarak tidak kurang dari  $c-0,1l_w$  dan  $c/2$ , dimana  $c$  adalah tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan  $\delta_u$ ;
  - Dalam penampang bersayap (*flanged*), elemen pembatas harus mencakup lebar sayap (*flange*) efektif dalam kondisi tekan dan harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam badan (*web*);
  - Tulangan transversal elemen pembatas harus memenuhi persyaratan dari SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.2 hingga 21.6.4.4, kecuali SNI 2847:2013 Persamaan (21.4) tidak perlu dipenuhi dan batas spasi tulangan transversal dari SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3(a) harus sebesar sepertiga dari dimensi terkecil dari elemen pembatas;

- Tulangan transversal elemen pembatas di dasar dinding harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit  $l_d$ , menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.3, dari tulangan longitudinal terbesar pada elemen pembatas khusus kecuali bila elemen pembatas khusus berhenti pada fondasi tapak, fondasi pelat penuh (*mat*), atau penutup tiang fondasi, dimana tulangan transversal elemen pembatas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam fondasi tapak, fondasi pelat penuh, atau penutup tiang fondasi;
  - Tulangan horizontal dalam badan (*web*) dinding harus menerus ke dalam 150 mm dari ujung dinding. Tulangan harus diangkur untuk mengembangkan  $f_y$  dalam kondisi tarik dalam inti terkekang dari elemen pembatas menggunakan kait atau kepala standar. Bila elemen pembatas terkekang mempunyai panjang cukup untuk menyalurkan tulangan badan horizontal, dan  $A_s f_y / s$  dari tulangan badan tidak lebih besar dari  $A_{sh} f_{yt} / s$  dari tulangan transversal elemen pembatas paralel terhadap tulangan badan, diizinkan untuk menghentikan tulangan badan tanpa kait atau kepala standar.
- e. Bila elemen pembatas khusus tidak disyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.2 atau Pasal 21.9.6.3, poin di bawahini harus dipenuhi (Gambar 2.15):
- Bila rasio tulangan longitudinal di pembatas dinding lebih besar dari  $2.8/f_y$ , tulangan transversal pembatas harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.2, dan Pasal 21.9.6.4(a). Spasi longitudinal maksimum tulangan transversal pada pembatas tidak boleh melebihi 200 mm;
  - Kecuali bila  $V_u$  pada bidang dinding kurang dari  $0.083 \lambda A_{cv} \sqrt{f_c}$ , tulangan horizontal yang berhenti pada tepi dinding struktur tanpa elemen pembatas harus memiliki kait standar yang memegang tulangan tepi atau tulangan

tepi harus dilindungi dalam sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama seperti, dan disambung lewatkan ke, tulangan horisontal.



(SNI 2847:2013 Gambar S21.9.6.5)

Gambar 2.17 Rasio Tulangan Longitudinal Untuk Kondisi Pembatas Dinding Tipikal

Halaman ini sengaja dikosongkan