

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas (upper structure) dan struktur bawah (sub structure). Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah, sedangkan struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan yang berada di bawah muka tanah. Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi (Rahajeng dan Adinda, 2016:7).

#### **2.2 Elemen Struktur**

Menurut Schodeck dalam Rahajeng dan Adinda (2016:8), struktur yang dibentuk dengan cara meletakkan elemen kaku horizontal di atas elemen kaku vertikal adalah struktur yang umum dijumpai. Elemen horizontal (balok) memikul beban yang bekerja secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom vertikal yang menumpunya. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh balok, kemudian mentransfer beban itu ke tanah. Kolom-kolom menerima gaya terpusat, umumnya dari ujung-ujung balok. Jadi, jelas ada hubungan yang erat antara pola dari sistem tumpuan yang membentang vertikal dan sistem tumpuan yang membentang horizontal.

##### **2.2.1 Pelat Lantai**

###### **2.2.1.1 Pelat Satu Arah**

Pelat satu arah adalah pelat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya lebih besar dari dua. Untuk pelat solid nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat  $h$  tidak boleh kurang dari batas minimum pada tabel 2.1, kecuali perhitungan lendutan dilaksanakan sesuai pasal 7.3.2 SNI 2847-2019.

**Tabel 2. 1** Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprotegang

Kondisi Tumpuan	$h^*$ Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

\*Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan  $f_y = 420$  MPa. Untuk  $F_y$  lebih dari 420 MPa, digunakan  $0,4 + (f_y/700)$

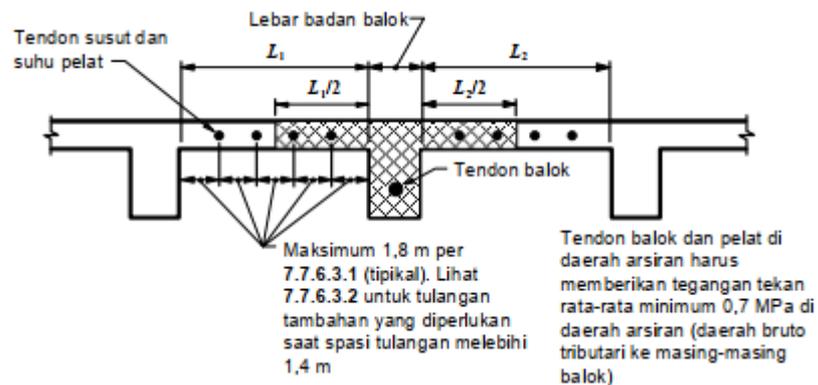
Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840  $\text{kg/m}^3$ , persamaan pada Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari a) dan b) berikut:

- $1,65 - 0,0003 w_c$
- 1,09

Untuk kuat desain pelat satu arah untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$  termasuk a) dan b). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$

Untuk batasan-batasan penulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum serta tulangan susut minimum diatur dalam pasal 7.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan baik itu spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan geser, maupun tulangan susut dan suhu diatur dalam pasal 7.7 SNI 2847-2019.

**Gambar. 2. 1** Potongan penampang balok yang dicor monolit dengan pelat.

### 2.2.1.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya tidak lebih dari dua. Untuk ketebalan pelat non prategang tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya nilai  $h$  tidak boleh kurang dari batasan pada **Tabel 2.2** dan memiliki nilai terkecil antara a) atau b), kecuali apabila lendutan diperhitungkan:

- Pelat tanpa *drop panel* sesuai pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 125 mm
- Pelat dengan *drop panel* sesuai pasal 8.2.4 SNI 2847-2019 minimum 100 mm

**Tabel 2. 2** Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior.

$f_y$ (Mpa)	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
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	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

$l_n$  adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm). Kemudian untuk pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika  $\alpha_f$  kurang dari 0,8. Nilai  $\alpha_f$  harus dihitung sesuai pasal 8.10.2.7 pada SNI 2847-2019.

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  harus memenuhi batasan pada **Tabel 2.3** kecuali lendutan diperhitungkan.

**Tabel 2. 3** Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya.

$\alpha_{fm}$	$h$ minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Sesuai pasal 8.3.1.1 SNI 2847-2019		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari	$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(0.1)
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari	$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	(0.2)
		90	(e)

Dimana:

$h$  : Tebal pelat (mm)

$l_n$  : Panjang bersih bentang pelat (mm)

$f_y$  : Tegangan leleh tulangan baja (Mpa)

$\beta$  :  $\frac{\text{Bentang bersih terpanjang}}{\text{Bentang bersih terpendek}}$

$\alpha_{fm}$  : Nilai rata-rata dari  $\alpha_m$  untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

$\alpha$  : Rasio dari kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat

$$\alpha = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

Dimana

$I_b$  : Momen Inersia sumbu titik pusat penampang bruto balok

$I_s$  : Momen Inersia sumbu titik pusat penampang bruto pelat

$E_{cb}$  : Modulus Elastisitas Balok

$E_{cs}$  : Modulus Elastisitas Pelat

Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai pasal 8.3.1.2 SNI 2847-2019, harus disediakan balok tepi dengan rasio kekakuan  $\alpha_f \geq 0,8$  atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers (2.7) atau (2.8) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi tidak menerus.

Untuk kuat desain pelat satu arah untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi pasal 8.4 SNI 2847-2019. Kemudian untuk batasan-batasan penulangan diatur dalam pasal 8.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan diatur dalam pasal 8.7 SNI 2847-2019.

### 2.2.2 Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang memiliki fungsi untuk menopang lantai di atasnya serta sebagai penyalur momen ke kolom-kolom yang menopang dibawahnya. Balok yang bertumpu langsung kepada kolom disebut balok induk, sedangkan balok yang bertumpu pada balok induk disebut balok anak.

Untuk balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat  $h$  tidak boleh kurang dari batas minimum pada **Tabel 2.3**, kecuali apabila lendutan diperhitungkan

**Tabel 2. 4** Tebal Minimum Non Balok Prategang bila Lendutan Tidak Dihitung

Kondisi perlekatan	Minimum $h$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Meners dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

Tabel diatas berlaku untuk beton normal dan  $f_y = 420$  MPa. Untuk  $f_y$  lebih dari 420 Mpa, harus dikali dengan  $(0,4 + f_y/700)$ . Untuk balok nonprategang dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m<sup>3</sup>, pers pada **Tabel 2.4** dikalikan dengan 1,65-0,0003 $w_c$  atau 1,09.

Untuk perencanaan kuat perlu balok, baik itu momen terfaktor, geser terfaktor serta torsi terfaktor dijelaskan pada pasal 9.4 SNI 2847-2019.

Untuk kuat desain balok untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$  termasuk a) hingga d). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

- a)  $\phi M_n \geq M_u$
- b)  $\phi V_n \geq V_u$
- c)  $\phi T_n \geq T_u$
- d)  $\phi P_n \geq P_u$

Untuk batasan-batasan penulangan baik tulangan lentur minimum, tulangan geser minimum serta tulangan torsi minimum diatur dalam pasal 9.6 SNI 2847-2019. Serta untuk detailing penulangan baik itu spasi tulangan, tulangan lentur, tulangan geser, maupun tulangan torsi diatur dalam pasal 9.7 SNI 2847-2019.

### 2.2.2.1 Penulangan Lentur

Pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan oleh analisis,  $A_s$  (luas tulangan) yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai dari persamaan berikut:

$$A_{s,min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'} b_w d}{f_y}$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$\frac{1,4 b_w d}{f_y}$$

Dimana:

$A_s$  min : Luas minimum tulangan lentur (mm<sup>2</sup>)

- $f_c'$  : Kuat tekan beton (MPa)  
 $f_y$  : Kekuatan leleh tulangan (MPa)  
 $b_w$  : Lebar balok (mm)  
 $d$  : Tinggi efektif balok (mm)

Batasan rasio penulangan:

$$\rho \leq 0,75 \rho_b$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \quad \rho \text{ tidak boleh melebihi } 0,025$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Berdasarkan faktor  $\beta_1$  dapat dihitung dengan:

- Untuk kuat tekan beton,  $f_c'$  kurang atau sama dengan 28 Mpa  $\beta_1 = 0,85$
- Untuk  $28 \text{ Mpa} < f_c' < 56 \text{ Mpa}$ , harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 Mpa namun nilai  $\beta_1$  tidak boleh kurang dari 0,65.

Dimana:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,85 \left( \frac{f_c' - 28 \text{MPa}}{7 \text{MPa}} \right)$$

- $\rho$  : Rasio penulangan aktual  
 $b_w$  : Lebar badan balok  
 $d$  : Tinggi efektif balok  
 $A_s$  : Luas tulangan aktual  
 $\rho_b$  : Rasio penulangan *balanced*

Dengan,

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'}$$

#### 2.2.2.2 Penulangan Geser

Berdasarkan peraturan SNI-2847-2019, Persamaan dasar untuk mendesain penulangan geser adalah sebagai berikut:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Kekuatan geser nominal ditentukan dengan:

$$V_n = V_c + V_s$$

Berdasarkan SNI-2847-2019 pasal 22.5.5.1 untuk elemen struktur yang dibebani geser dan lentur, kapasitas geser beton, yaitu:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

Bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur,  $V_s$  dapat dihitung dengan rumus:

$$V_s = \frac{A_s f_y d}{s}$$

Untuk elemen struktur yang mengalami tekan aksial, kapasitas geser beton yaitu:

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

Untuk elemen struktur yang mengalami gaya tarik aksial signifikan:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{3,5A_g} \right) \cdot \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$N_u/A_g$  dinyatakan dalam Mpa.

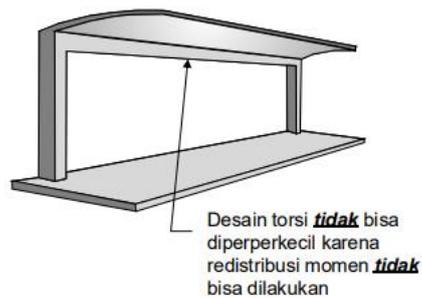
Dimana:

- $V_u$  : gaya geser terfaktor
- $\phi$  : Faktor reduksi geser (0,85).
- $V_n$  : Kekuatan geser nominal
- $V_c$  : Kekuatan geser nominal beton
- $V_s$  : Kekuatan geser nominal tulangan
- $\lambda$  : Faktor modifikasi
- $\lambda$  : 0,85 untuk beton pasir ringan
- $\lambda$  : 0,75 untuk beton ringan semuanya
- $\lambda$  : 1 untuk beton normal
- $s$  : Jarak antar tulangan geser

### 2.2.2.3 Penulangan Torsi

Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.7.3, dalam desai torsi pada struktur beton bertulang, terdapat dua kondisi yang dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Desain torsi Kesetimbangan (Struktur Statis Tertentu). Pada kondisi ini momen torsi tidak dapat direduksi karena momen torsi dibutuhkan agar struktur dalam keseimbangan, sehingga jika  $T_u \geq \phi T_{cr}$  maka komponen balok torsi harus di desain untuk menahan  $T_u$



**Gambar 8. 1** Contoh Balok Torsi Keseimbangan

(Sumber: Gambar R22.7.3a SNI 2847:2019)

2. Desain torsi Kompatibilitas (Struktur Statis Tak Tentu). Pada kondisi ini momen torsi dapat direduksi karena terjadi redistribusi gaya internal setelah retak jika torsi terjadi dari kompoien struktur terpuntir untuk mempertahankan kompatibilitas derformasi sehingga jika  $T_u \geq \phi T_{cr}$  maka komponen balok torsi harus diperbolehkan untuk mereduksi  $T_u$  sampai  $\phi T_{cr}$  dimana  $T_{cr}$  dihitung sesuai pasal 22.7.5 SNI 2847:2019



**Gambar 8. 2** Contoh Balok Torsi Kompatibilitas

(Sumber: Gambar R22.7.3a SNI 2847:2019)

Desain penampang puntir berdasarkan peraturan SNI-2847-2019 dalam pasal 22.7:

Tulangan sengkang pada puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan:

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

Berdasarkan peraturan SNI-2847-2019 pasal 22.7.4.1, untuk komponen struktur pengaruh puntir boleh diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  kurang dari:

$$T_u \leq \phi 0,83 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

$T_u$  : Momen Torsi terfaktor (Nmm)

- $T_n$  : Momen Torsi nominal (Nmm)  
 $A_0$  : Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_{cp}$  : Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton ( $\text{mm}^2$ )  
 $P_{cp}$  : Keliling luar penampang beton (mm)

Dimensi penampang solid untuk menahan kuat puntir harus memenuhi ketentuan:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}$$

Luas tulangan longitudinal tambahan untuk menahan torsi tidak boleh kurang daripada:

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

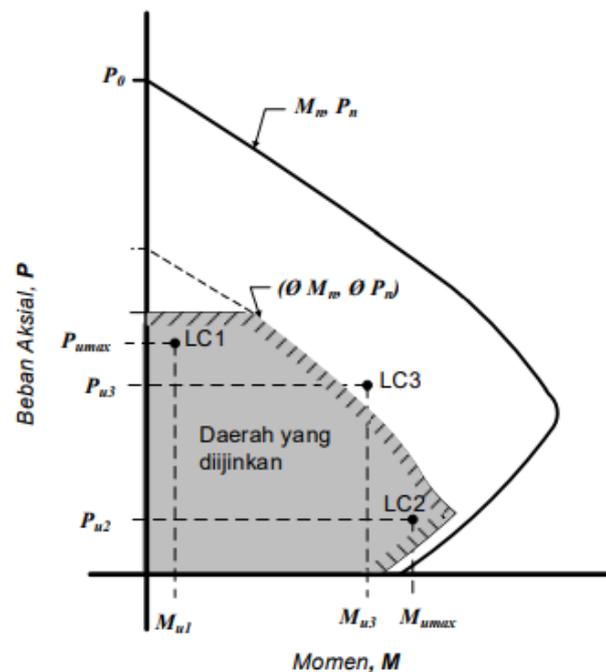
Dimana :

- $T_u$  : Momen puntir terfaktor (Nmm)  
 $T_n$  : Momen puntir nominal (Nmm)  
 $A_0$  : Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_t$  : Luas satu kaku sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi  
 $A_l$  : Luas total tulangan longitudinal untuk menahan torsi ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_{oh}$  : Luas yang dibatasi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar ( $\text{mm}^2$ )  
 $P_h$  : Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm)  
 $f_{yt}$  : Tulangan torsi transversal (MPa)  
 $f_y$  : Tulangan torsi longitudinal (Mpa)  
 $\theta$  : Nilainya  $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ , untuk komponen struktur non-prategang boleh diambil  $45^\circ$

### 2.2.3 Kolom

Kolom adalah komponen struktur umumnya vertikal yang digunakan untuk memikul beban aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser (SNI-2847:2019;44).

Kuat perlu harus dihitung berdasarkan kombinasi beban terfaktor serta harus dianalisis berdasarkan prosedur analisis pada pasal 6 SNI 2847-2019.  **$P_u$**  dan  **$M_u$**  terjadi bersamaan untuk setiap kombinasi beban terfaktor harus dipertimbangkan.



**Gambar. 2. 2** Kombinasi beban kritis kolom  
(Sumber: SNI 2847:2019 pasal 10.4.2.1)

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang terpakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$  termasuk a) hingga d). Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan

- a)  $\phi M_n \geq M_u$
- b)  $\phi V_n \geq V_u$
- c)  $\phi T_n \geq T_u$
- d)  $\phi P_n \geq P_u$

Kolom dirancang untuk menahan gaya aksial. Kekuatan tekan aksial ( $P_n$ ) tidak boleh melebihi ( $P_{n,max}$ ). dari beban terfaktor, beban aksial terfaktor ( $P_u$ ) tidak boleh lebih dari kuat tekan rencana ( $\phi P_n$ ). Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 22.4.2.1, persamaan tersebut yaitu:

$$\phi P_n \geq P_u$$

- Komponen non-prategang dengan tulangan spiral  
 $P_{o,max} = 0,85P_o,$
- Komponen nonprategang dengan tulangan pengikat persegi  
 $P_{o,max} = 0,80P_o,$   
dengan,

$$P_o = 0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Dimana:

$P_o$  : Kekuatan aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)

$f'_c$  : Mutu beton yang diisyaratkan (MPa)

$A_g$  : Luas bruto penampang beton (mm<sup>2</sup>)

$A_{st}$  : Luas total tulangan longitudinal/memanjang (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  : tegangan lelah tulangan memanjang (MPa)

Untuk yang tidak termasuk bagian dari sistem penahan gaya gempa harus didesain berdasarkan pasal 18 SNI 2847-2019.

## 2.2.4 Fondasi

### 2.2.4.1 Daya Dukung Satu Tiang

Daya dukung satu tiang pancang fondasi mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan kapasitas tahanan ujung dan tahanan selimut tiang. Meyerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang pancang dengan menggunakan data SPT sebagai berikut:

#### Daya Dukung Untuk Tanah NonKohesif

Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ ):

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p$$

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

Daya Dukung Selimut Tiang ( $Q_s$ )

$$Q_s = 0,2 \times \bar{N} \times P \times L_i$$

#### Daya Untuk Tanah Kohesif

Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ ):

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p$$

Daya Dukung Selimut Tiang ( $Q_s$ )

$$Q_s = \frac{A_s \times \bar{N}}{50}$$

Dimana:

$N_1$  : Nilai SPT pada kedalaman 10D pada ujung tiang ke atas

$N_2$  : Nilai SPT pada kedalaman 4D pada ujung tiang ke bawah

$A_p$  : Luas penampang dasar tiang (m<sup>2</sup>)

- Li : Tebal Lapisan Tanah  
 P : Keliling tiang  
 $\alpha$  : Koefien Adhesi Antara

Besar daya dukung fondasi tiang ( $Q_u$ ) diperoleh dengan menjumlahkan daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dan tahanan geser dinding (*skin friction*) tiang ( $Q_s$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Nilai daya dukung ultimit fondasi tiang harus dibagi dengan nilai faktor keamanan untuk mendapatkan daya dukung izin fondasi ( $Q_{all}$ ) sesuai yang disyaratkan dalam SNI 8460:2017 Persyaratan Perencanaan Geoteknik, pasal 9.2.3.1 dimana nilai faktor keamanan untuk fondasi dalam telah ditentukan sebesar **SF = 2,5** sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{Q_u}{2,5}$$

#### 2.2.4.2 Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada banyak kasus, tiang pancang digunakan dalam suatu kelompok tiang untuk menyakurkan beban struktur ke tanah, sebuah pile cap digunakan

A. Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan ( $n$ ) adalah

$$n = \frac{v}{Q_u}$$

Dimana:

- n : Jumlah tiang pancang  
 v : Beban vertikal (ton)  
 $Q_u$  : Daya dukung satu tiang (ton)

B. Daya Dukung Kelompok Tiang ( $Q_g$ )

$$Q_g = Q_a \times E_g$$

Dimana:

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

Dimana:

- $Q_g$  : Daya dukung kelompok tiang (ton)  
 $E_g$  : Efisiensi kelompok  
 n : Jumlah tiang setiap deret

- m : Jumlah deret tiang  
 $\theta$  :  $\tan^{-1} (D/S)$   
 D : diameter tiang (m)  
 S : jarak antar tiang (m)

Untuk kelompok tiang, jarak antar tiang dapat digunakan ketentuan  $2,5D \leq S \leq 3,5D$ . Sedangkan jarak tiang ke tepi fondasi dibatasi dengan  $1,25D \leq S \leq 1,5D$ .

### 2.3 Pembebanan

Dalam merencanakan suatu struktur gedung harus memperhatikan beban-beban yang terjadi pada gedung tersebut. Beban merupakan gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada didalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi (Badan Standar Nasional Indonesia, 2020). Sistem pembebanan dalam perhitungan meliputi sistem pembebanan vertikal dan sistem pembebanan horizontal. Adapun beban-beban yang ditinjau dalam penulisan tugas akhir ini adalah beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.:

#### 1. Beban Vertikal

- Beban mati, berupa berat sendiri struktur ditambah komponen-komponen lain yang berhubungan dan bersifat tetap.
- Beban hidup, disebabkan penggunaan bangunan sesuai dengan fungsinya dan bersifat sementara.

#### 2. Beban Horizontal

- Beban gempa, pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi.
- Beban Angin, disebabkan tekanan angin di luar bangunan yang diblok oleh struktur bangunan.

#### 2.3.1 Beban mati

Menurut SNI 1727:2020 pasal 3.1.1 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 derek dan sistem pengangkut material.

**Tabel 2. 5** Berat Jenis Bahan Bangunan.

No.	Bahan Bangunan	Berat (kN/m <sup>3</sup> )
1	Beton Bertulang	24

**Tabel 2. 6** Berat Jenis Komponen Bangunan.

No.	Bahan Bangunan	Berat (kN/m <sup>3</sup> )
1	Adukan, per cm tebal	0,21
2	Dinding batako berlubang, tebal 10 cm	1,20
3	Plumbing dan instalasi listrik	0,25
4	Penutup lantai tanpa adukan, per cm tebal lantai	0,24
5	Plafond + Rangka	0,20

### 2.3.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013 pasal 4.1 beban hidup adalah 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. Berikut merupakan tabel beban hidup terdistribusi merata berdasarkan hunian dan penggunaan.

Tabel 2. 7 Beban hidup berdasarkan hunian dan penggunaan

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_o$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Apartemen (lihat rumah tinggal)</b>					
<b>Sistem lantai akses</b>					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
<b>Gudang persenjataan dan ruang latihan</b>	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
<b>Ruang pertemuan</b>					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
<b>Balkon dan dek</b>	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
<b>Koridor</b>					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
<b>Ruang makan dan restoran</b>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
<b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>					
<b>Dudukan mesin elevator</b> (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		-	-	300 (1,33)	
<b>Konstruksi pelat lantai finishing ringan</b> (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		-	-	200 (0,89)	

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_o$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup bertantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b>	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Tangga permanen</b>		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
<b>Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)</b>					
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
<b>Pegangan tangga dan pagar pengaman</b>	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2	
<b>Helipad (Lihat Pasal 4.11)</b>					
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
<b>Rumah sakit</b>					
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
<b>Hotel (lihat rumah tinggal)</b>					
<b>Perpustakaan</b>					
Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	4.13
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
<b>Pabrik</b>					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
<b>Gedung perkantoran</b>					
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
<b>Lembaga hukum</b>					
Blok sel	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Koridor	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Tempat rekreasi</b>					
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Gimnasium	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Hunian atau penggunaan	Merata, $I_o$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Rumah tinggal</b>					
Hunian satu dan dua keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Atap</b>					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
<i>Awning</i> dan kanopi					
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24) berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		-	-	2000 (8,90)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan				300 (1,33)	

Hunian atau penggunaan	Merata, $L_o$ psf (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
<b>Sekolah</b>	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
<b>Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses</b>				200 (0,89)	
<b>Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk</b>	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
<b>Tangga dan jalan keluar</b>	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
<b>Gudang diatas langit-langit</b>	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Gudang penyimpanan dan pekerja</b> (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
<b>Toko</b>					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
<b>Penghalang kendaraan</b>				Lihat Pasal 4.5.3	
<b>Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)</b>	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
<b>Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki</b>	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

### 2.3.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. (PPPURG-1987). Beban angin yang digunakan dalam desain SPBAU (Sistem Penahan beban Angin Utama) untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup Sebagian tidak boleh lebih kecil dari  $0,77 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan  $0,38 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksi pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang di asumsikan. Beban dinding dan atap harus ditetapkan secara simultan. Gaya angin desain untuk bangunan gedung terbuka harus tidak kurang dari  $0,77 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas bangunan gedung yang terbuka dan struktur lainnya baik yang tegak lurus terhadap arah angin ataupun di proyeksikan pada bidang yang tegak lurus terhadap arah angin.

### 2.3.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari Gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh Gerakan tanah akibat gempa itu.

### 2.3.5 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1727:2013 pasal 2.3.2, Struktur, komponen, dan fondasi harus didesain sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek beban-beban terfaktor dalam kombinasi berikut. Efek dari satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus diselidiki. Efek yang paling tidak menguntungkan baik dari beban angin dan gempa harus diselidiki, sesuai kondisinya, tapi tidak perlu diperhitungkan bekerja secara bersamaan. Efek beban seismik harus beban-beban yang kombinasikan sesuai SNI 1726:2019 pasal 4.2.3.3. Adapun kombinasi pembebanan dasar menurut SNI 1727:2020 pasal 2.3.2 adalah sebagai berikut:

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

Dengan:

- D : Beban mati  
 L : Beban hidup  
 L<sub>r</sub> : Beban hidup atap  
 R : Beban air hujan  
 S : Beban salju  
 W : Beban angin

Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.2.3.3 apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan dengan kombinasi beban dasar diatas. Apabila pengaruh beban

seismik yang dimaksud,  $E = f(E_v, E_h)$  (pada pasal 7.4.2) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismic yang harus digunakan adalah:

8.  $1,0D + 0,7E_v + 0,7E_h$
9.  $1,0D + 0,525E_v + 0,525E_h + 0,75L$
10.  $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_h$

Apabila pengaruh beban seismic dengan kuat lebih yang ditinjau  $E_m = f(E_v, E_{mh})$  (pada pasal 7.4.3) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismic untuk struktur yang harus digunakan adalah:

11.  $1,0D + 0,7E_v + 0,7E_{mh}$
12.  $1,0D + 0,525E_v + 0,525E_{mh} + 0,75L$
13.  $0,6D - 0,7E_v + 0,7E_{mh}$

Dimana:

$E_v$  : Pengaruh beban seismic vertikal seperti didefinisikan dalam pasal 7.4.2.1

$E_h$  : Pengaruh beban seismic horizontal seperti didefinisikan dalam pasal 7.4.2.2

$E_{mh}$  : Pengaruh beban seismic horizontal termasuk kuat lebih struktur.

## **2.4 Syarat Kekuatan dan Keseimbangan Struktur Tahan Gempa**

### **2.4.1 Parameter Perencanaan Gaya Gempa**

#### **2.4.1.1 Gempa Rencana**

Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.1.1 Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

#### **2.4.1.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan**

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.9 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 2.10. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

**Tabel 2. 8** Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (SNI 1726-2019;24)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak 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>– Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>– Bangunan industri</li> <li>– Fasilitas manufaktur</li> <li>– Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gedung pertemuan</li> <li>– Stadion</li> <li>– Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>– Fasilitas penitipan anak</li> <li>– Penjara</li> <li>– Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</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>	III

<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 - Rumah</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, tsunami, 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

**Tabel 2. 9** Faktor Keutamaan Gempa (*Ie*)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, <i>Ie</i>
I atau II	1
III	1,25
IV	1,50

## 2.4.2 Prosedur Klasifikasi Situs untuk Desain Seismik

### 2.4.2.1 Klasifikasi Situs

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam **Tabel 2.10**. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik. Jika sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs SE harus digunakan sesuai dengan Pasal 6.2 SNI 1726-2019, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya. Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

### 2.4.2.2 Definisi Kelas Situs, serta Parameternya

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari **Tabel 2.11** berikut

**Tabel 2. 10** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_S$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang 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 \geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		

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

Untuk parameter kelas situs yang telah disebutkan pada tabel diatas berupa kecepatan rata rata gelombang geser,  $\bar{v}_s$ , tahanan penetrasi standar,  $\bar{N}$  atau  $\bar{N}_{ch}$ , serta kuat geser niralir rata-rata,  $\bar{s}_u$ , diatur dalam pasal 5.4.1 hingga 5.4.3 SNI 1726-2019.

### 2.4.3 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

#### 2.4.3.1 Parameter Percepatan Gempa

Parameter percepatan gempa ialah poin poin yang harus diperhatikan saat menganalisa percepatan gempa. Parameter-parameter tersebut antara lain situs dekat sesar, parameter percepatan terpetakan yang terdiri atas percepatan batuan dasar periode pendek,  $S_s$ , serta percepatan batuan dasar pada periode 1 detik,  $S_1$ , serta kelas situs. Parameter-parameter tersebut diatas diatur dalam pasal 6.1.1 hingga pasal 6.1.3 SNI 1726-2019.

#### 2.4.3.2 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE<sub>R</sub>)

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCE<sub>R</sub> di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ).

Parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ), ditentukan dengan rumus

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

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

Dimana:

$S_s$  : Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_l$  : Parameter respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

**Tabel 2. 11** Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS <sup>b</sup>					

**Tabel 2. 12** Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1 detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,5 \setminus 6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS <sup>b</sup>					

Catatan:

- Untuk nilai antar  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- SS merupakan situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

#### 2.4.3.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

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

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

#### 2.4.3.4 Spektrum Respons Desain

Untuk perioda ( $T$ )  $\leq T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

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

Untuk  $T_0 \leq T \leq T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS}$$

Untuk perioda  $T_s \leq T \leq T_L$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{D1}/T$$

Untuk perioda  $T > T_L$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{D1}T_L/T^2$$

Dimana,

$S_{DS}$  : Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek;

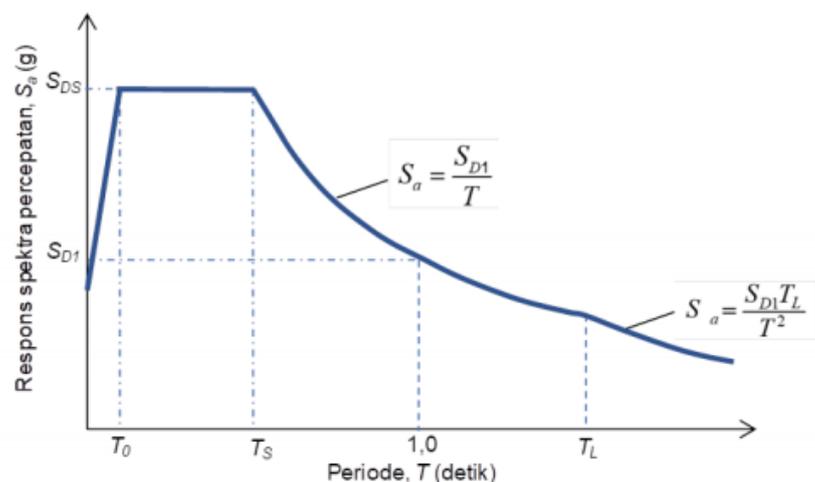
$S_{D1}$  : Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  : Periode getar fundamental struktur

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

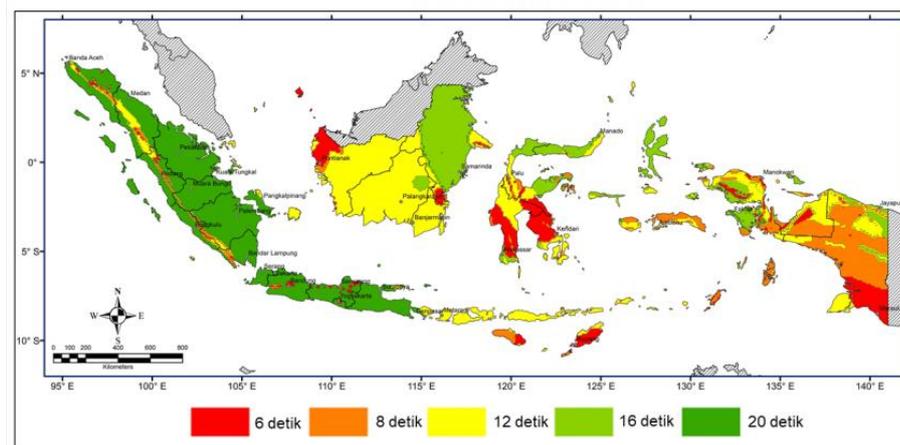
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$T_L$  : Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 yang nilainya dari Gambar 2.12



**Gambar. 2. 3** Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2019 pasal 6.4)



**Gambar 2.8.** Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia  
(SNI 1726:2019 pasal 15)

#### 2.4.3.5 Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $SDS$  dan  $SDI$ , sesuai parameter percepatan spektral desain. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada **Tabel 2.14** dan **Tabel 2.15**, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur,  $T$ . (SNI 1726:2018 pasal 6.5)

**Tabel 2. 13** 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
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 2. 14** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik.

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
$0,133 \leq S_{DI} < 0,2$	C	D
$0,2 \leq S_{DI}$	D	D

#### 2.4.4 Persyaratan Desain Seismik Struktur Bangunan Gedung

Semua bagian struktur antara sambungan pemisah pada bangunan harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem pemikul gaya seismik, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya seismik ( $F_p$ ) yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus diikat ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen yang mempunyai kuat desain yang mampu menyalurkan gaya seismik yang dihitung sebagai nilai terbesar antara  $0,133S_{DS}$  kali berat bagian struktur yang lebih kecil atau 5 % berat bagian tersebut. Kemudian semua bagian sambungan ke tumpuan harus mempunyai kekuatan desain minimum sebesar 5% dari total reaksi beban mati dan beban hidup.

Fondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur dan fondasi oleh gerak tanah seismik desain. Mengenai kaedah desain dan konstruksi fondasi harus sesuai dengan pasal 7.1.5 dan 7.13 SNI 1726-2019.

##### 2.4.4.1 Pemilihan Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.15 atau kombinasi sistem seperti yang tertera pada pasal 7.2.2, 7.2.3 dan 7.2.4 SNI 1726-2019, kecuali apabila sistem struktur tersebut termasuk dalam pasal 7.2.1. Masing-masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur,  $h_n$ , yang ditunjukkan pada Tabel 2.15. Koefisien modifikasi respons,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan faktor pembesaran simpangan lateral,  $C_d$ , yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.15 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

**Tabel 2. 15** Faktor  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  untuk Sistem Rangka Beton Pemikul Momen

Sistem Penahan Gaya Seismik		R	$\Omega_0$	$C_d$	Kategori Desain Seismik					
					A	B	C	D	E	F
Sistem Rangka Pemikul Momen	Biasa	3	3	2,5	TB	TB	TI	TI	TI	TI
	Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TB	TI	TI	TI
	Khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	TB

Keterangan:

TB : tidak dibatasi

TI : tidak diizinkan

#### 2.4.4.2 Redudansi

Faktor redundansi,  $\rho$ , harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik. Berikut merupakan kondisi dimana diizinkan nilai  $\rho$  sama dengan 1,0 :

1. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta;
3. Desain komponen nonstruktural;
4. Desain struktur nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan 7.4.3 SNI 1726-2019.
6. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih berdasarkan pasal 7.4.3 SNI 1726-2019;
7. Beban diafragma yang ditentukan menggunakan persamaan (51), termasuk batasan yang disyaratkan oleh persamaan (52) dan persamaan (53) SNI 1726-2019
8. Desain struktur dengan sistem peredam sesuai pasal 13 SNI 1726-2019;
9. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

### 2.4.5 Pemilihan Prosedur Analisis

Analisis struktur yang disyaratkan oleh pasal 7 SNI 1726:2019 harus terdiri dari salah satu tipe yang diizinkan dalam Tabel 16 SNI 1726:2019, berdasarkan kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamik, dan keteraturan sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diizinkan untuk digunakan dengan persetujuan pihak berwenang. Prosedur analisis yang dipilih harus dilengkapi sesuai harus dilengkapi sesuai dengan persyaratan dari pasal yang terkait yang dirujuk dalam Tabel 16 SNI 1726:2019.

**Tabel 2. 16** Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismik
B, C	Semua Struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori resiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan structural dan ketinggian tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan strukturan dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Keterangan: I = Diizinkan, TI = Tidak Diizinkan

### 2.4.6 Analisis Linier Dinamik Spektrum Respons

#### 2.4.6.1 Jumlah Ragam

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus

menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur.

#### 2.4.6.2 Parameter Respons Terkombinasi

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam yang berdekatan mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.

#### 2.4.6.3 Skala Nilai Desain untuk Respons Terkombinasi

Geser dasar ( $V$ ) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal orthogonal. Geser dasar seismic ( $V$ ) dalam arah vertikal dan horizontal harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

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

Dimana:

$C_s$  = koefisien respons spektrum

$W$  = berat seismik efektif

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum desain pada periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons dalam **Tabel 2.15**

$I_e$  = faktor keutamaan gempa sesuai **Tabel 2.9**

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai tidak boleh lebih dari:

**Untuk  $T \leq T_L$**

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

**Untuk  $T > T_L$**

$$C_{smaks} = \frac{S_{D1}T_L}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_I \geq 0,6g$ , maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:

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

#### 2.4.6.4 Penentuan Periode Fundamental Struktur ( $T$ )

Periode fundamental struktur ( $T$ ), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari tabel dibawah dan periode fundamental pendekatan, ( $T_a$ ).

**Tabel 2. 17** Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, $S_{DI}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

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

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

dimana,

$h_n$  adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan pada dari tabel berikut:

**Tabel 2. 18** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur,  $T$ , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan,  $T_a$ , yang dihitung dengan persamaan:

$$T_a = 0,1 N$$

dimana,

$N$  = Jumlah Tingkat.

Persamaan tersebut digunakan untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m.

Perioda fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan:

Jika  $T_c > C_u \cdot T_a$  gunakan  $T = C_u \cdot T_a$

Jika  $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$  gunakan  $T = T_c$

Jika  $T_c < C_u \cdot T_a$  gunakan  $T = T_a$

Dengan,

$T_c$  = Perioda fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

#### 2.4.6.5 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam **Tabel 2.16**, harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_t$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) seperti digambarkan dalam Gambar 9 dan ditentukan dari persamaan berikut:

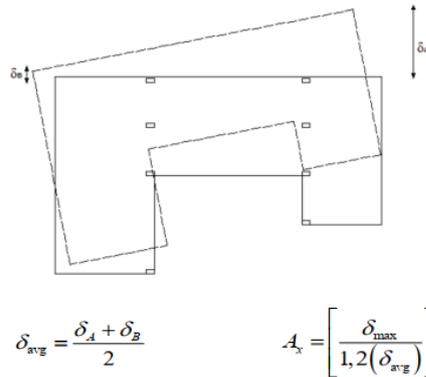
$$A_x = \left( \frac{\Delta_{max}}{1,2 \Delta_{avg}} \right)^2 \quad (0.3)$$

Keterangan

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

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

Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.



**Gambar. 2. 4** Faktor Pembesaran Torsi,  $A_x$

#### 2.4.6.6 Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

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

Keterangan:

$P_x$  = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bila menghitung , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

$\Delta$  = simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan  $V_x$  (mm)

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan pasal 4.1.2

$V_x$  = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan x – 1 (kN)

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

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12 SNI 1726-2019.

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh melebihi  $\theta_{\text{max}}$  yang ditentukan sebagai berikut:

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

dimana  $\beta$  adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x – 1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

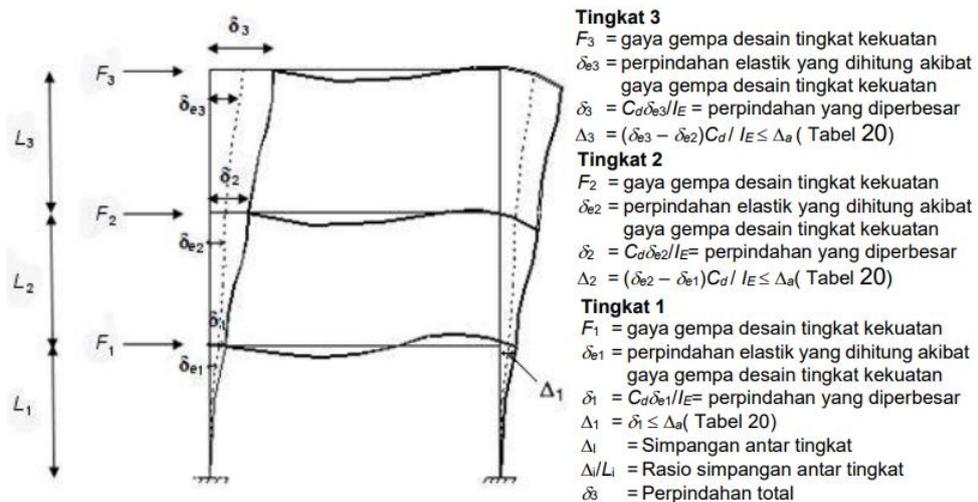
### 2.4.6.7 Rasio Partisipasi Modal Massa

Sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (single rigid body) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

Pengecualian Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

### 2.4.6.8 Simpangan Antar Tingkat dan Deformasi

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, Penentuan simpangan anatar lantai desain ( $\Delta$ ) harus dihitung ssebagai perbedaan simpanhan pada pusat massa di atas dan dibawah tingkat yang ditinjau seperti yang dijelaskan pada gambar berikut:



**Gambar. 2. 5** Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, simpangan pusat massa di tingkat- $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

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

Dengan:

$C_d$  : Faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{xe}$  : Simpangan di tingkat- $x$  yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik

$I_e$  : Faktor keutamaan gempa

Sesuai pasal 7.12.1 SNI 1726-2019, simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) yang telah ditentukan pada pasal 7.8.6 dan 7.9 tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta a$ ) seperti pada tabel dibawah ini untuk semua tingkat.

**Tabel 2. 19** Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I/II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 $h_{sx}$	0,02 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,01 $h_{sx}$	0,01 $h_{sx}$	0,01 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,02 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,01 $h_{sx}$

#### 2.4.6.9 Ketidakberaturan Konfigurasi

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam **Tabel 2.16** dan **Tabel 2.17** harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur baik itu horizontal maupun vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam **Tabel 2.16** dan **Tabel 2.17** harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

**Tabel 2. 20** Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur berdasarkan SNI 1726:2019

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan KDS
1a	<i>Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan <math>A_x = 1,0</math>, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.</i>	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E,dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

1b	<b>Ketidakberaturan torsi berlebihan</b> didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$ , di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan E C dan D C dan D D B, C, dan D
2	<b>Ketidakberaturan sudut dalam</b> didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	<b>Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	<b>Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang</b> didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	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 vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu utama ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

**Tabel 2. 21** Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	<b>Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan</b>	<b>Pasal Referensi</b>	<b>Penerapan KDS</b>
1a	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak</b> didefinisikan ada jika terdapat	Tabel 16	D, E, dan F

	<i>suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.</i>		
1b	<b>Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan</b> <i>didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.</i>	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2	<b>Ketidakteraturan Berat (Massa)</b> <i>didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau</i>	Tabel 16	D, E, dan F
3	<b>Ketidakteraturan Geometri Vertikal</b> <i>didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.</i>	Tabel 16	D, E, dan F
4	<b>Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral</b> <i>didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.</i>	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	<b>Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat</b> <i>didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.</i>	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b	<b>Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat</b> <i>didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen</i>	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

	<i>pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.</i>		
--	--	--	--

## 2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen

Menurut SNI 1726-2019 sistem rangka pemikul momen ialah sistem struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban lateral melalui mekanisme lentur. Terdapat tiga jenis sistem rangka pemikul momen yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), digunakan untuk kategori desain seismik B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), digunakan untuk kategori desain seismik B dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), digunakan untuk kategori desain seismik B, C, D, E, dan F.

### 2.5.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Sesuai dengan SNI 2847-2019, balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua sisi atas dan bawah penampang. Tulangan bawah yang menerus harus memiliki luas tidak kurang dari seperempat luas maksimum tulangan bawah. Tulangan ini harus diangkur untuk dapat mencapai kekuatan leleh tarik  $f_y$  pada muka tumpuan.

Untuk kolom, harus mempunyai panjang tak tertumpu  $l_n \leq 5c_l$  harus memiliki  $\phi V_n$  setidaknya nilai terendah diantara

- a) Gaya geser yang terkait dengan terjadinya kekuatan momen nominal  $M_n$  pada setiap ujung dari panjang tak tertumpu kolom akibat lentur yang berbalik arah (kurvatur ganda).
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain, termasuk beban gempa ( $E$ ) dengan  $\Omega_0 E$  sebagai pengganti  $E$ .

### 2.5.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

#### 2.5.2.1 Balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari 1/3 kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Kemudian, kekuatan momen negatif maupun positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari 1/5 kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$\phi V_n$  balok yang menahan pengaruh gempa  $E$ , tidak boleh kurang dari point dibawah ini:

- a) Jumlah gaya geser terkait dengan tercapainya  $M_n$  pada muka joint disetiap ujung balok akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda) dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- b) Gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan  $E$ , dengan  $E$  ditetapkan sebesar dua kali ilia yang dipersyaratkan SNI 1726-2019.

Pada kedua ujung balok, Sengkang tertutup harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari  $2h$  diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan  $\leq 50$  mm dari muka komponen struktur penumpu. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang balok. Selain itu spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari point-point dibawah ini:

- a)  $d/4$
- b) 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c) 24 kali diameter batang tulangan Sengkang
- d) 300 mm.

Pada balok yang memiliki gaya tekan aksial terfaktor melebihi  $A_g f_c' / 10$ , tulangan sengkang perlu berdasarkan pasal 18.4.2.5 harus memenuhi pasal 25.7.2.2 dan salah satu diantara pasal 25.7.2.3 atau 25.7.2.4 SNI 2847-2019.

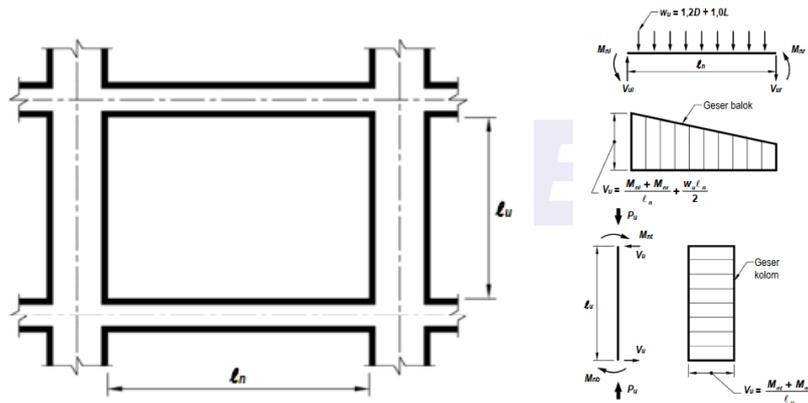
### 2.5.2.2 Kolom

Kolom-kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menurus, seperti dinding, harus dipasang tulangan Sengkang tertutup dengan spasi  $s_o$ , sesuai pasal 18.4.3.3 SNI 2847-2019 di sepanjang tinggi penuh kolom-kolom tersebut terkait dengan pengaruh gempa melebihi  $A_g f_c' / 10$ . Jika gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal pada sistem pemikul gaya seismik, batasan  $A_g f_c' / 10$  harus ditingkatkan menjadi  $A_g f_c' / 4$ .

Tulangan transversal harus diteruskan ke atas dan kebawah dari kolom yang ditinjau sesuai pasal 18.7.5.6b SNI 2847-2019. Kemudian untuk persyaratan spesi tulangan pada kolom mengikuti pasal 18.4.3.3 hingga 18.4.3.5 pada SNI 2847 2019.

$\phi V_n$  kolom yang menahan pengaruh gempa  $E$ , tidak boleh kurang dari point dibawah ini:

- Jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya  $M_n$  pada muka joint di setiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah (kurvatur ganda). Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang konsisen dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi.
- Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor termasuk  $E$ , dengan  $\Omega_0 E$  sebagai pengganti  $E$ .



**Gambar. 2. 6** Geser desain untuk rangka momen menengah

### 2.5.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

#### 2.5.3.1 Balok

Pasal 18.6 SNI 2847-2019 berlaku untuk balokbalok sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan lentur dan geser. Balok-balok sistem rangka pemikul momen khusus harus merangka ke kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus sesuai Pasal 18.7 SNI 2847-2019.

Balok harus memenuhi (a) hingga (c):

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

Untuk persyaratan penulangan balok, diatur dalam pasal 18.6.3 dan 18.6.4 SNI 2847-2019

### 2.5.3.2 Kolom

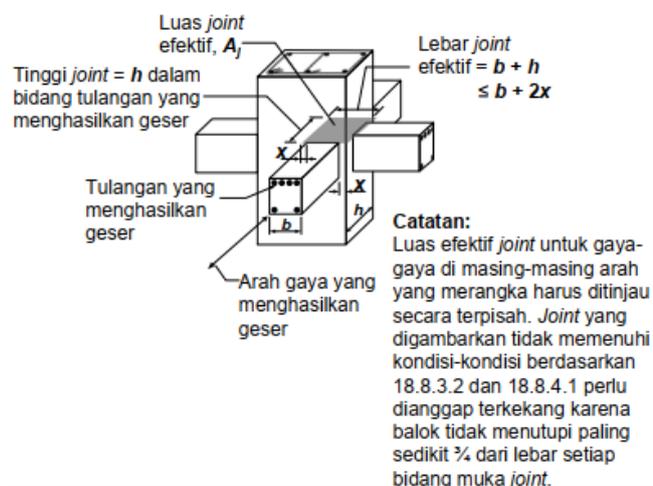
Pasal 18.7 SNI 2847-2019 berlaku untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial. Untuk batasan dimensi kolom, Kolom-kolom harus memenuhi a) dan b):

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Untuk persyaratan penulangan balok, diatur dalam pasal 18.7.4 dan 18.7.5 SNI 2847-2019.

### 2.5.3.3 Sambungan

Pasal 18.8 SNI 2847-2019 berlaku untuk joint balok-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ . Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai Pasal 18.8.5 SNI 2847-2019 dan dalam tekan sesuai pasal 25.4.9 SNI 2847-2019. Untuk persyaratan penulangan sambungan, diatur dalam pasal 18.8.3, dan 18.8.5 SNI 2847-2019



**Gambar. 2. 7** Luas Sambungan Efektif.