

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Merencanakan struktur bangunan bertingkat tahan gempa di zona gempa dengan gempa bumi intensitas tinggi yang sering terjadi mengharuskan memastikan bahwa struktur bangunan dapat menahan gempa dan tidak mudah runtuh, dengan itu memberikan waktu yang cukup bagi penghuni bangunan untuk menyelamatkan diri. Oleh karena itu, saat merencanakan suatu bangunan perlu mempertimbangkan beban gempa yang terjadi.

Untuk merencanakan struktur bangunan bertingkat memerlukan suatu sistem yang sesuai agar bisa digunakan lebih maksimal. Salah satu sistem untuk merencanakan struktur bangunan bertingkat tahan gempa yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus merupakan sistem rangka dalam yang dimana komponen – komponen struktur dan join – join tersebut mampu menahan gaya – gaya dalam dan lentur yang bekerja pada struktur, oleh karena itu perhitungan SRPMK ini menggunakan konsep *Strong Column Weak Beam*. (Tiasmoro, 2021)

#### **2.2 Perencanaan Konstruksi**

##### **2.2.1 Dasar Perencanaan**

Sebagai dasar perencanaan gedung ini adalah segi keamanan yang paling utama, baik terhadap beban tetap maupun sementara. Digunakannya Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan konsep *Strong Column Weak Beam* agar kolom tidak mengalami kondisi leleh terlebih dahulu sebelum balok, dengan permodelan struktur ini dapat menghasilkan struktur bangunan yang stabil sekalipun ada beberapa komponen mengalami kerusakan akibat gempa.

##### **2.2.2 Peraturan dan Standar yang Digunakan**

Pedoman dari perencanaan gedung ini menggunakan beberapa peraturan, yaitu:

1. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
2. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

### 2.3 Beton: Persyaratan Desain (SNI 2847:2019, Pasal 19.2)

Beton merupakan campuran dari material semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Beton terdiri dari  $\pm 15\%$  semen,  $\pm 8\%$  air,  $\pm 3\%$  udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda – beda tergantung pada cara pembuatannya, perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat – sifat beton (Wuryati dalam Brawijaya, 2022).

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja yang bekerja secara bersama – sama untuk memikul beban yang ada. Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar tetapi lemah untuk menerima tegangan tarik, sehingga tulangan baja yang ditanam dalam beton menjadi unsur kekuatan yang memikul tegangan tarik. Peranan tulangan baja dalam menahan tarik sangat berguna karena baja mempunyai tegangan tarik dan regangan tarik yang sangat tinggi serta bersifat duktail. (Agus Setiawan dalam Ali, 2018).

#### 2.3.1 Persyaratan Kekuatan Tekan

Nilai dari  $f'_c$  harus sesuai dengan persyaratan:

1. Batasan nilai
2. Persyaratan durabilitas
3. Persyaratan kekuatan struktur

**Tabel 2. 1** Batasan Nilai  $f'_c$

Kegunaan	Jenis Beton	Nilai $f'_c$ Minimum (MPa)	Nilai $f'_c$ Maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding struktural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35

(Sumber: SNI 2837:2019 Pasal 19.2.1)

### 2.3.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , diizinkan untuk dihitung berdasarkan:

1. Untuk beton normal

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots\text{(Pers. 2.1)}$$

Dimana:

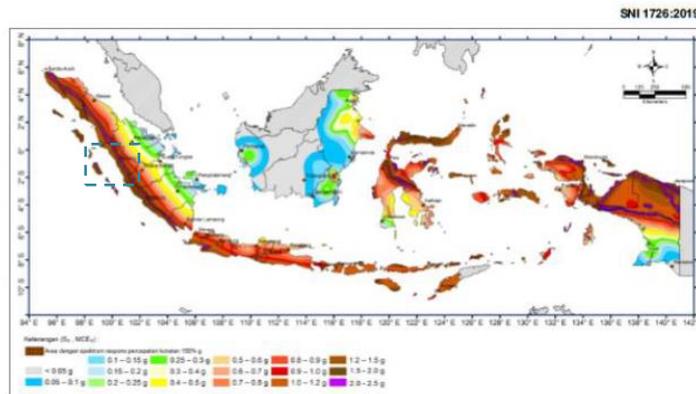
$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$f'_c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)

## 2.4 Analisis Beban Seismik SNI Gempa 1726:2019

### 2.4.1 Gempa Rencana

Pengaruh gempa rencana harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk menerapkannya perlu adanya melihat peta – peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah  $S_s$  gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

**Gambar 2. 1** Peta Gerak Tanah Seismik Indonesia 2019

Pada gambar 2.1 menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) parameter – parameter gerak tanah  $S_s$  dan  $S_1$ .  $S_s$  merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode pendek, teredam 5%, sedangkan  $S_1$  merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-tertarget pada periode 1 detik, teredam 5%.

## 2.4.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan gempa merupakan tingkatan keutamaan dan keamanan bangunan dalam menerima beban gempa. Faktor keutamaan gempa ditentukan dengan kategori risiko suatu bangunan, yaitu kategori I, II, III, dan IV. Kategori risiko merupakan prioritas fungsi bangunan dalam menghadapi risiko gempa. Kategori risiko ditentukan berdasarkan manfaat bangunan dalam kehidupan sehari – hari.

**Tabel 2. 2** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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> 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: <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 diisyaratkan 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</li> <li>- Rumah ibadah</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 diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa,  $I_e$ .

**Tabel 2. 3** Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2)

### 2.4.3 Pembebanan Struktur

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen – elemen pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi – kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban – beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

- a.  $1,4D$
- b.  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- c.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- e.  $0,9D + 1,0W$

Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi – kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu diperhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

- f.  $1,2D + E_v + E_h + L$
- g.  $0,9D - E_v + E_h$

### 2.4.4 Prosedur Klasifikasi Situs untuk Desain Seismik

Klasifikasi situs bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor – faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

**Tabel 2. 4** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s \left( \frac{m}{detik} \right)$	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
<b>SA</b> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<b>SB</b> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<b>SC</b> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
<b>SD</b> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<b>SE</b> (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		

	a. Indeks plastisitas, $PI > 20$ b. Kadar air, $w \geq 40\%$ c. Kuat geser niralir, $\bar{S}_u < 25$ kPa
<b>SF</b> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah bersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 5.3)

#### 2.4.5 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral

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

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.3)}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots \text{(Pers. 2.4)}$$

Dimana:

$S_s$  = parameter respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek

$S_1$  = parameter respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik

**Tabel 2. 5** Koefisien Situs,  $F_a$

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

CATATAN:

(a) **SS** = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2)

**Tabel 2. 6** Koefisien Situs  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
<b>SA</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>SB</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>SC</b>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
<b>SD</b>	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
<b>SE</b>	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
<b>SF</b>	<b>SS<sup>(a)</sup></b>					

CATATAN:

(a) **SS** = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 6.2)

#### 2.4.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.5})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.6})$$

#### 2.4.7 Respons Spektrum Desain

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

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

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.7})$$

b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .

c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.8})$$

d. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.9})$$

Dimana:

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

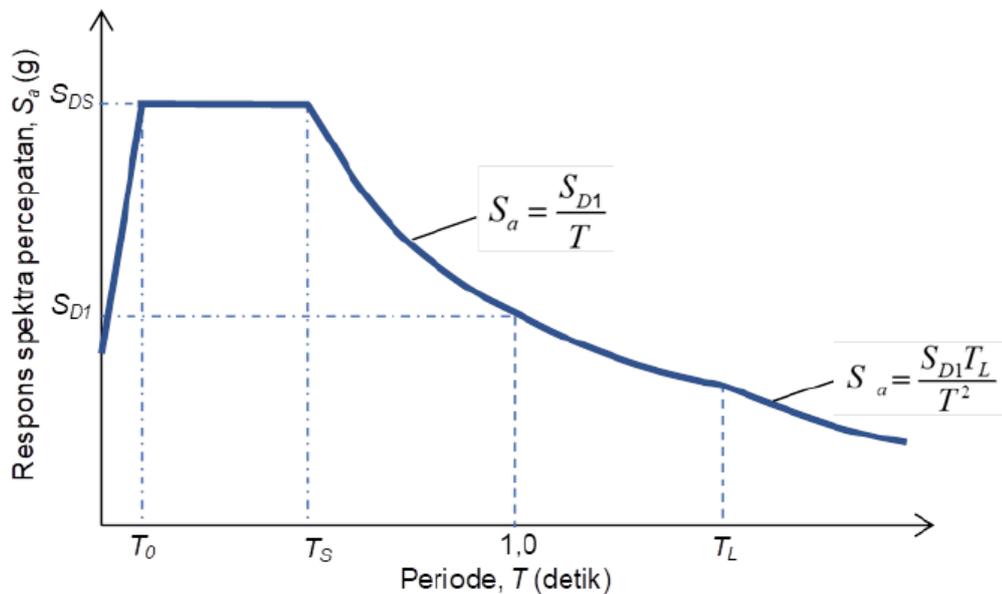
$S_{D1}$  = parameter respons spektrum percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = parameter getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.10})$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.11})$$

$T_L$  = peta transisi periode panjang



**Gambar 2. 2** Respons Spektrum Desain

### 2.4.8 Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risikop IV yang berlokasi di mana parameter respons spektrum percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Apabila  $S_1$ , lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diizinkan untuk ditentukan sesuai tabel.

**Tabel 2. 7** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

**Tabel 2. 8** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

### 2.4.9 Periode Fundamental Pendekatan

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

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots(Pers. 2.12)$$

Dimana:

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

$C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel 2.9.

**Tabel 2. 9** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$

Tipe Struktur	$C_t$	$\alpha$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegaj rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- 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

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.8.2.1)

#### 2.4.10 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral,  $F_x$ , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx}V \dots\dots\dots(Pers. 2.13)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(Pers. 2.14)$$

Dimana:

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

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

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai:

Untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $k = 1$

Untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $k = 2$

Untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 atau 2

#### 2.4.11 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(Pers. 2.15)$$

Dimana:

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke-i (kN)

#### 2.4.12 Batas Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan izin antar lantai ( $\Delta_\delta$ ) seperti didapatkan dari tabel untuk semua tingkat.

**Tabel 2. 10** Simpangan Izin Antar Lantai

Struktur	Kategori Risiko		
	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	0,025 $h_{sx}$	0,02 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,01 $h_{sx}$	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 $h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726:2019, Pasal 7.12.1)

Defleksi pusat massa tingkat x ( $\delta_x$ ) (mm) ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.16})$$

Dimana:

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi struktur

$I_e$  = faktor keutamaan gedung

### 2.5 Persyaratan untuk Perencanaan Pelat (SNI 2847:2019, pasal 7 – 8)

#### 2.5.1 Pelat Satu Arah

##### 1. Batasan Desain

- Ketebalan minimum

Ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum.

**Tabel 2. 11** Ketebalan Minimum Peat Solid Satu Arah Nonprategang

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

- Batasan lendutan

Untuk pelat nonprategang  $\epsilon_t$  sekurang – kurangnya 0,0004

## 2. Kekuatan Perlu

- Momen terfaktor

Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan,  $M_u$  di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan.

- Geser terfaktor

Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan,  $V_u$  di tumpuan diperkenankan dihitung pada muka tumpuan. Penampang antara muka tumpuan dan penampang kritis yang terletak sejauh  $d$  dari permukaan tumpuan untuk pelat nonprategng atau  $h/2$  dari muka tumpuan.

## 3. Kekuatan Desain

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipaka, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi:

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

## 4. Batasan Tulangan

**Tabel 2. 12**  $A_{s,min}$  untuk Pelat Satu Arah Nonprategang

Tipe Tulangan	$f_y$ (MPa)	$A_{s,min}$		
Batang ulir	< 420	$0,0020A_g$		
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td><math>\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g</math></td> </tr> <tr> <td><math>0,0014A_g</math></td> </tr> </table>	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$	$0,0014A_g$
$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$				
$0,0014A_g$				

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 7.6.1.1)

Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$ , harus disediakan pada semua penampang dimana:

$$V_u > \phi V_c$$

## 5. Detail Penulangan

- Spasi maksimum s untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450 mm.
- Tulangan tarik lentur tidak boleh diputus di daerah tarik kecuali:
  - $V_u \leq \frac{2}{3} \phi V_n$  pada titik putus
  - Untuk tulangan **D36** atau yang lebih kecil, luas tulangan yang diteruskan dua kali lipat dari luas yang dibutuhkan untuk lentur pada titik putus dan  $V_u \leq \frac{3}{4} \phi V_n$
  - Luas sengkang berlebih yang diperlukan untuk geser disediakan di sepanjang pemutusan tulangan atau kawat sejarak  $\frac{3}{4}d$  dari titik pemutusan tulangan.

## 6. Pemutusan Tulangan

Pada tumpuan sederhana dan titik balik,  $d_b$  untuk tulangan tarik momen positif harus dibatasi sedemikian rupa sehingga  $l_d$  dapat memenuhi:

$$- l_d \leq \left(1, 3M_n/V_u + l_a\right) \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.17})$$

jika ujung tulangan dikekang oleh reaksi tekan

$$- l_d \leq \left(M_n/V_u + l_a\right) \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.18})$$

jika ujung tulangan tidak dikekang oleh reaksi tekan

### 2.5.2 Pelat Dua Arah

#### 1. Batasan Desain

- Ketebalan minimum pelat

Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan **Tabel 2.13**.

**Tabel 2. 13** Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

$f_y$ (MPa)	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	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	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.1)

Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan  $h$  harus memenuhi batasan pada tabel 2.14.

**Tabel 2. 14** Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

$\alpha_{fm}$	<b>h minimum, mm</b>	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	2.13 berlaku	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber: SNI 2847:2019, Pasal 8.3.1.1)

- Batas Lendutan

Untuk pelat nonprategang  $\epsilon_t$  sekurang – kurangnya 0,0004

## 2. Kekuatan Desain

Untuk setiap beban kombinasi terfaktor yang berlaku, kekuatan desain harus mencakup:

- $\phi M_n \geq M_u$  di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah

- $\phi M_n \geq \gamma_f M_u$  dalam  $b_{pelat}$
- $\phi V_n \geq V_u$  di semua penampang sepanjang bentang pada setiap arah untuk geser satu arah
- $\phi v_n \geq v_u$  pada penampang kritis untuk geser dua arah

### 3. Batasan Tulangan

**Tabel 2. 15**  $A_{s,min}$  untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

Tipe Tulangan	$f_y$ (MPa)	$A_{s,min}$	
Batang ulir	< 420	0,0020 $A_g$	
Batang ulir atau kawat las	$\geq 420$	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			0,0014 $A_g$

### 4. Pendetailan Tulangan

Untuk pelat solid nonprategang, spasi maksimum s tulangan ulir longitudinal harus yang terkecil dari  $2h$  dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari  $3h$  dan 450 mm pada penampang lainnya.

## 2.6 Perencanaan Balok

### 1. Batas Desain

- Tinggi balok minimum

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 2.16**.

**Tabel 2. 16** Tinggi Minimum Balok Nonprategang

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

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 Pasal 9.3.1.1)

Untuk  $f_y$  lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

Untuk balok nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840  $kg/cm^3$ , persamaan pada Tabel 2.16 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:

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

Untuk balok nonprategang dengan  $P_u < 0,10f'_cA_g$ ,  $\epsilon_t$  sekurang-kurangnya 0,004.

## 2. Kekuatan Rencana

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain di semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$  meliputi keempat persyaratan di bawah. Interaksi antara pengaruh beban harus diperhitungkan.

- $\phi P_n \geq P_u$
- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$

## 3. Batasan Tulangan

$A_{s,min}$  harus lebih besar dari:

$$\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

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

Luas minimum tulangan geser  $A_{v,min}$  harus disediakan pada semua penampang dimana,  $V_u > 0,5\phi V_c$  kecuali untuk kasus  $A_{v,min}$  tidak diperlukan jika  $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$ . Untuk kasus ini, sekurang – kurangnya  $A_{v,min}$  harus dipasang dimana  $V_u > \phi V_c$ .

**Tabel 2. 17** Kasus Dimana  $A_{v,min}$  tidak diperlukan jika  $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$

Tipe Balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250 \text{ mm}$
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dari $2,5t_f$ atau $0,5b_w$

	dan $h \leq 600 \text{ mm}$
Dibangun dengan beton bobot normal bertulang serat baja sesuai dengan $f'_c \leq 40 \text{ MPa}$	$h \leq 600 \text{ mm}$ dan $V_u \leq \phi 0,17\sqrt{f'_c}b_wd$
Sistem pelat berusuk satu – arah	Sesuai dengan pasal 9.8

(Sumber: SNI 2847:2019, pasal 9.6.3.1)

#### 4. Pendetailan Penulangan

- Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan Tabel 2.18.

**Tabel 2. 18** Spasi Maksimum Tulangan Geser

$V_s$	Spasi maksimum, s, mm		
		Kolom non prategang	Kolom prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.7.6.2.2 Pasal 9.7.6.2.2)

- Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sekurang-kurangnya  $(b_t + d)$  melewati titik yang disyaratkan oleh analisis.
- Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi  $p_h/8$  dan 300 mm.
- Spasi tulangan transversal harus tidak melebihi sekurang-kurangnya ketiga persyaratan berikut:
  - $16d_b$  tulangan longitudinal
  - $48d_b$  tulangan transversal
  - Dimensi terkecil balok

## 2.7 Perencanaan Kolom

### 1. Batasan Dimensi

Untuk kolom dicor secara monolitik dengan dinding beton, batas luar penampang kolom efektif tidak boleh diambil lebih besar dari 40 mm di luar tulangan transversal.

## 2. Kekuatan desain

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$ , meliputi:

- $\phi P_n \geq P_u$
- $\phi M_n \geq M_u$
- $\phi V_n \geq V_u$
- $\phi T_n \geq T_u$

## 3. Batasan Tulangan

- Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata  $f_{pe} < 1,6 MPa$ , luas tulangan longitudinal harus sekurang – kurangnya  $0,01A_g$ , namun tidak boleh melebihi  $0,08A_g$ .
- Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$  harus disediakan di semua wilayah dimana  $V_u > 0,5\phi V_c$
- Bila tulangan geser diperlukan  $A_{v,min}$  harus lebih besar dari:

$$0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

$$0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

## 4. Pendetailan Tulangan

- Tulangan longitudinal

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata  $f_{pe} < 1,6 MPa$ , jumlah minimum tulangan longitudinal:

- Tiga dalam sengkang ikat segitig
- Empat dalam sengkang ikat segi empat atau lingkaran
- Enam dalam sengkang spiral atau untuk kolom pada sistem pemikul momen khusus dalam sengkang spiral melingkar

## 5. Geser

Jika diperlukan, tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengeang, atau sengkang spiral. Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai tabel.

**Tabel 2. 19** Persyaratan Spasi Maksimum Tulangan Geser

$V_s$	Spasi maksimum, s, mm		
		Kolom non prategang	Kolom prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33\sqrt{f'_c}b_ws$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber: SNI 2847, tabel 10.7.6.5.2)

## 2.8 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

### 2.8.1 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019, pasal 18.6)

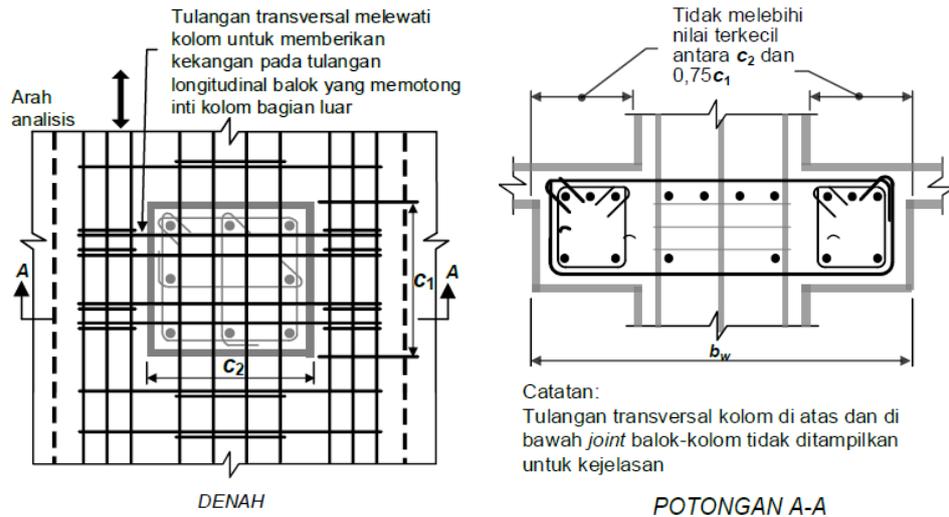
#### 1. Ruang Lingkup

Pasal ini berlaku untuk balok rangka momen khusus yang menahan beban lateral yang diinduksi oleh pergerakan gempa. Setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi  $\left(\frac{A_g f'_c}{10}\right)$  akibat setiap kombinasi beban harus diproposionalkan dan didetailkan seperti yang dijelaskan dalam pasal 18.7. Standar ditulis berdasarkan asumsi bahwa sistem rangka pemikul momen khusus terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang saling berhubungan oleh *joint* balok-kolom. Diperkenankan balok dan kolom dipasang miring selama sistem yang dihasilkan berperilaku sebagai rangka, yaitu tahanan lateral disediakan terutama oleh transfer momen di antara balok dan kolom daripada aksi *strut* atau bresing. Pada sistem rangka pemikul momen khusus, diizinkan untuk mendesain balok untuk menahan kombinasi gaya momen dan aksial yang terjadi pada balok yang bekerja keduanya sebagai kantilever di luar kolom, tetapi kantilever seperti itu bukan bagian dari sistem rangka pemikul momen khusus yang membentuk sistem pemikul gaya seismik.

#### 2. Batasan Dimensi

Balok harus memenuhi:

- 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<sub>1</sub>** pada masing – masing sisi kolom.



**Gambar 2. 3** Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (Wide Beam) dan Persyaratan Tulangan Transversal (Sumber: SNI 2847:2019)

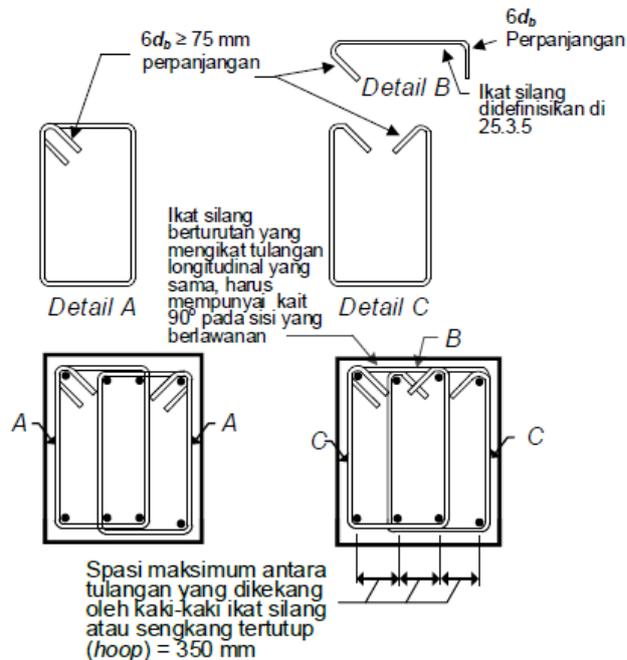
### 3. Tulangan Longitudinal

- Batasan rasio tulangan 0,025 didasarkan terutama pada pertimbangan kerapatan tulangan dan secara langsung membatasi tegangan geser balok dengan proporsi tipikal.
- Sambungan lewatan tulangan longitudinal diizinkan jika sengkang pengegang atau spiral dipasang sepanjang sambungan lewatan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung-lewatkan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari  $d/4$  dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada lokasi:
  - Dalam *joint*.
  - Dalam jarak dua kali tinggi balok dari muka *joint*.
  - Dalam jarak dua kali tinggi balok dari penampang kritis di mana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

### 4. Tulangan Transversal

- Sengkang pengegang harus dipasang pada balok daerah berikut:
  - Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok.

- Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.
- b. Spasi tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.
- c. Sengkang pengekuat pada balok diizinkan terdiri dari dua batang tulangan, yaitu sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ikat silang sebagai penutup. Ikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan longitudinal yang sama harus memiliki kait 90 derajat yang dipasang selang – seling pada sisi yang berlawanan dari komponen struktur lentur.
- d. Sengkang pengekuat pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekuat tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
  - $d/4$
  - Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama.
  - 150 mm.



**Gambar 2. 4** Contoh Sengkang Tertutup (Hoop) yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal (Sumber: SNI 2847:2019)

- e. Bila sengkang pengekan tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang balok.

**5. Kekuatan Geser**

- a. Gaya desain – gaya geser desain  $V_e$  harus dihitung dari tinjauan gaya – gaya pada bagian balok di antara kedua muka *joint*. Momen – momen dengan tanda berlawanan yang terkait dengan kekuatan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , harus diasumsikan bekerja pada muka – muka *joint* dan balok dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor di sepanjang bentangnya.
- b. Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan  $V_e = 0$  bilamana kedua terpenuhi:
  - Gaya geser akibat beban gempa yang dihitung sesuai point a mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
  - Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$ .

**2.8.2 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019)**

**1. Ruang Lingkup**

Pasal ini 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.

**2. Batasan Dimensi**

Kolom – kolom harus memenuhi:

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

**3. Kekuatan Lentur Minimum Kolom**

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1, 2) \Sigma M_{nb} \dots \dots \dots \text{(Persamaan 2.19)}$$

$\Sigma M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom – kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya – gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\Sigma M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka – muka *joint*. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam kondisi tarik akibat momen – momen di muka *joint*, tulangan pelat dalam lebar efektif harus diasumsikan berkontribusi terhadap  $M_{nb}$  jika tulangan pelat tersebut terangkut dengan baik pada penampang kritisnya.

Kekuatan lentur harus dijumlahkan sedemikian hingga momen – momen kolom berlawanan dengan momen – momen balok. Persamaan 2.1 harus dipenuhi untuk momen – momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertikal rangka yang ditinjau.

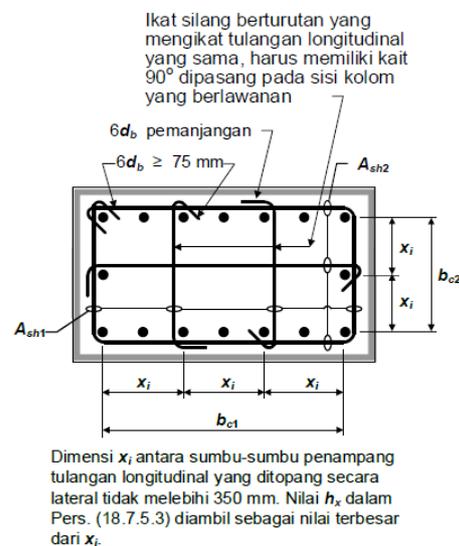
#### 4. Tulangan Longitudinal

- a. Luas tulangan longitudinal  $A_{st}$  tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  dan tidak lebih dari  $0,06A_g$ .
- b. Pada kolom – kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

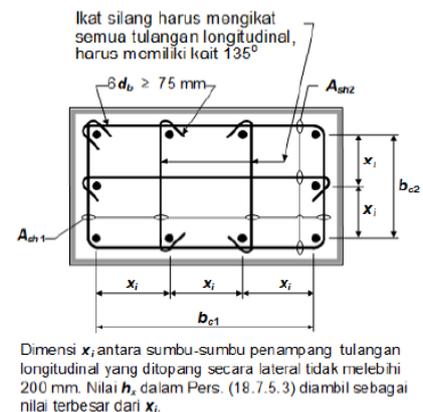
#### 5. Tulangan Transversal

- a. Tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_0$  dari masing – masing muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari nilai terbesar:
  - Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi.
  - Seperenam tinggi bersih kolom.
  - 450 mm.
- b. Tulangan transversal harus sesuai dengan:
  - Tulangan transversal harus terdiri dari spiral tunggal atau spiral saling tumpang (*overlap*), sengkang pengekok bundar, atau sengkang pengekok persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
  - Setiap tekukan ujung sengkang pengekok persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.

- Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekok diizinkan sesuai batasan. Ikat silang yang berurutan harus diselang – seling ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- Jika digunakan sengkang pengekok persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal.
- Tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi  $h_x$  antara tulangan – tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki – kaki sengkang pengekok tidak boleh melebihi 350 mm.
- Ketika  $P_u > 0,3A_gf'_c$  atau  $f'_c > 70 MPa$  pada kolom dengan sengkang pengekok, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekok ataupun oleh kait gempa, nilai  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $P_u$  harus merupakan gaya tekan terbesar yang konsisten dengan kombinasi beban terfaktor termasuk **E**.



**Gambar 2. 5** Contoh Penulangan Transversal pada Kolom



**Gambar 2. 6** Contoh Penulangan Transversal pada Kolom dengan  $P_u > 0,3A_gf'_c$  atau  $f'_c > 70 MPa$

c. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari:

- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom.
- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
- $S_0$ , yang dihitung dengan:

$$S_0 = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.20)}$$

Nilai  $S_0$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

d. Faktor kekuatan beton  $k_f$  dan faktor keefektifan pengekanan  $k_n$  dihitung berdasarkan

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.21)}$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.22)}$$

Dimana  $n_l$  adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekanan atau kait seismik.

**Tabel 2. 20** Tulangan Transversal untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan Transversal	Kondisi	Persamaan yang Berlaku	
$A_{sh}/s_{bc}$ Untuk sengkang pengekanan persegi	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a) $0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b), dan (c)	$0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)
$\rho_s$ Untuk spiral ataupun sengkang pengekanan lingkaran	$P_u > 0,3A_g f'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (d) $0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (e)
	$P_u > 0,3A_g f'_c$ atau $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e), dan (f)	$0,35k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (f)

(Sumber: SNI 2847:2019, Tabel 18.7.5.4)

e. Jika tebal selimut beton di luar tulangan transversal pengekanan yang ditetapkan dan melebihi 100 mm, maka harus disediakan tulangan transversal tambahan dengan tebal selimut beton tidak melebihi 100 mm dan spasi tidak melebihi 300 mm.

## 6. Kekuatan Geser

- a. Gaya geser desain  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya – gaya maksimum yang dapat terjadi di muka – muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya – gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi,  $M_{pr}$ , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada kolom. Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan *joint* berdasarkan  $M_{pr}$  balok yang merangka ke *joint*. Nilai  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor berdasarkan analisis struktur.
- b. Tulangan transversal sepanjang  $l_0$  harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_e = 0$  bila terjadi:
  - Gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum di sepanjang  $l_0$ .
  - Gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$ .

### 2.8.3 *Joint* Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SNI 2847:2019)

#### 1. Ruang Lingkup

Pasal ini berlaku untuk *joint* balok-kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

#### 2. Umum

- a. Gaya – gaya pada tulangan longitudinal balok di muka *joint* harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ .
- b. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal (*normalweight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
- c. Tinggi *joint*  $h$  tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok – balok yang merangka pada *joint* sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

### 3. Tulangan Transversal

- a. Bila pada keempat sisi *joint* terdapat balok yang merangka kepadanya dan bila lebar dari setiap balok tersebut setidaknya tiga perempat lebar kolom, maka jumlah tulangan yang diperlukan pasal 18.7.5.4 diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang diisyaratkan pasal 18.7.5.3 diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam ketinggian balok **h** yang terendah yang merangka pada *joint* tersebut.
- b. Tulangan longitudinal balok yang berada di luar inti kolom harus dikekang oleh tulangan transversal yang menembus kolom dengan spasi sesuai pasal 18.6.4.4, dan persyaratan pasal 18.6.4.2 dan 18.6.4.3, jika pengekangan tersebut tidak diberikan oleh balok yang merangka ke dalam *joint*.
- c. Bila tulangan momen negatif balok menggunakan tulangan berkepala (*headed deformed bar*) yang berhenti di dalam *joint*, maka ujung atas kolom harus diteruskan di atas *joint* setidaknya setinggi **h**. sebagai alternatif, tulangan balok harus dikekang pada muka atas *joint* oleh tulangan *joint* vertikal tambahan.

### 4. Kekuatan Geser

- a. Kekuatan geser  $V_n$  *joint* harus sesuai:

**Tabel 2. 21 Kekuatan Geser Nominal Joint  $V_n$**

Konfigurasi <i>Joint</i>	$V_n$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok – balok pada keempat sisinya. <sup>[1]</sup>	$1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok – balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan. <sup>[1]</sup>	$1,2\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>
Untuk kasus – kasus lainnya.	$1,0\lambda\sqrt{f'_c}A_j$ <sup>[2]</sup>

CATATAN:

<sup>[1]</sup>Mengacu pada pasal 18.8.4.2

<sup>[2]</sup> $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal. Nilai  $A_j$  berdasarkan pasal 18.8.4.3

(Sumber: SNI 2847:2019, Tabel 18.8.4.1)

- b. Pada tabel 2.2, suatu muka *joint* dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif *joint*.

- c. Luas penampang efektif dalam suatu *joint*,  $A_j$ , harus dihitung dari tinggi *joint* kali lebar *joint* efektif. Tinggi *joint* harus sebesar lebar kolom,  $h$ . lebar *joint* efektif harus selebar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil:
- Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
  - Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

## 5. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

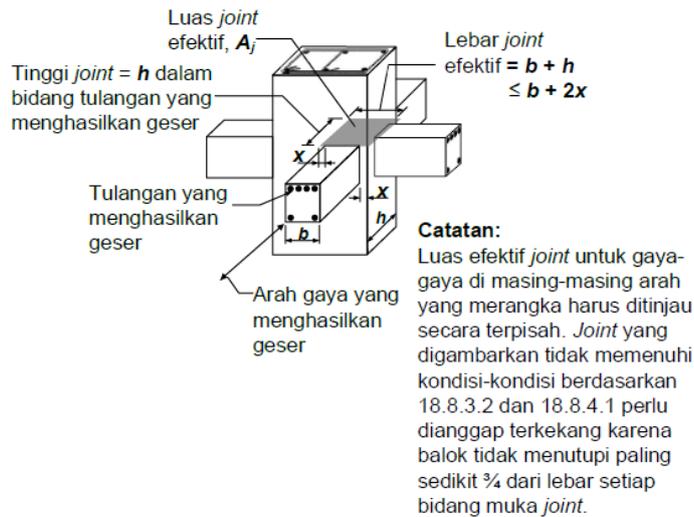
- a. Untuk tulangan D10 hingga D36 yang ujungnya diberi kait standar, panjang penyaluran  $l_{dh}$  harus dihitung berdasarkan persamaan 2.3. Untuk beton normal,  $l_{dh}$  yang diperoleh tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara  $8d_b$  dan 150 mm; dan untuk beton ringan tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara  $10d_b$  dan 190 mm.

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.23)}$$

Nilai  $\lambda$  adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal.

Kait standar harus ditempatkan dalam inti terkekang kolom atau elemen batas, dengan kait ditekuk ke dalam *joint*.

- b. Untuk tulangan D10 hingga D36, panjang penyaluran tulangan tarik  $l_d$  untuk tulangan lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar:
- 2,5 kali panjang sesuai pasal 18.8.5.1 bila beton yang dicor di bawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm.
  - 3,25 kali panjang sesuai pasal 18.8.5.1 bila tinggi beton yang dicor bersamaan di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.
- c. Tulangan lurus yang berhenti pada *joint* harus melewati inti terkekang kolom atau elemen batas. Semua bagian  $l_d$  yang tidak berada di dalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.



**Gambar 2. 7 Luas Joint Efektif**

**2.9 Perencanaan Tiang Pancang**

Perencanaan tiang pancang dan poer harus mampu menahan struktur atas gedung. Daya dukung vertikal dihitung berdasarkan kombinasi tahanan gesekan dan tahanan ujung. Perumusan daya dukung ultimate untuk pondasi:

$$Q_{sp} = \frac{1}{FK} (f_b A_b + U \sum_{i=1}^n l_i f_{si}) \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.24})$$

Dimana:

$Q_{sp}$  = daya dukung vertikal yang diijinkan

$FK$  = faktor keamanan (1-3)

$f_b$  = tahanan ujung tiang ( $ton/m^3$ )

$A_b$  = luas penampang ujung tiang ( $m^3$ )

$U$  = keliling tiang (m)

$l_i$  = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (m)

$f_{si}$  = intensitas tahanan geser gempa ( $ton/m^2$ )

Langkah – langkah perhitungan daya dukung tiang pancang menurut hasil uji sondir sebagai berikut:

1. Panjang ekuivalen dari tahanan kerucut

Harga konus pada jarak 8D ke atas dari ujung konus

Harga konus pada jarak 4D ke bawah dari ujung konus

Konus rata – rata ujung  $C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{C.8D+C.4D}{2} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.25})$

2. Daya dukung ijin tiang pancang

Daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data sondir (Meyerhof, 1956)

$$P_{tiang} = C_{n \text{ rata-rata ujung}} \times \frac{A}{n_1} + JHP \times \frac{k}{n_2}$$

Keterangan :

$P_{tiang}$  = daya dukung ijin tiang tunggal (kg)

$C_{n \text{ rata-rata ujung}}$  = tekanan jonus rata – rata ( $kg/cm^2$ )

$A$  = luas permukaan ujung tiang ( $cm^2$ )

$JHP$  = gesekan pada selimut tiang ( $kg/cm$ )

$K$  = keliling tiang pancang (cm)

$n_1$  = faktor keamanan (a. tetap: 3, b. sementara: 5)

$n_2$  = faktor keamanan (a. tetap: 5, b. sementara: 7)

3. Merencanakan tiang pancang kelompok

Menghitung jarak tiang berdasarkan dari Dirjen Bina Marga Departemen PU:

$$1,5D \leq S \leq 3,5D \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.26})$$

Jarak tepi tiang pancang

$$D \leq S1 \leq 1,5 \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.27})$$

4. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{ijin}} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.28})$$

p tiang yang diizinkan:

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.29})$$

$$P_{maks} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} < P_{ijin} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.30})$$

$$P_{min} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x y_{maks}}{\Sigma y^2} > 0 \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.31})$$

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre:

$$Q_{tiang} = \eta \times P_{ijin} \times P_{maks} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.32})$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \left( \text{arc} \theta \left( \frac{D}{S} \right) \left( \frac{m(n-1)+n(m-1)}{m \times n \times 90} \right) \right) \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.33})$$

5. Cek kekuatan

$$P_{maks} < (P_{ijin} \times \eta) \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.34})$$

## 2.10 Persyaratan Pondasi Dalam (SNI 2847:2019, pasal 13.4)

### 2.10.1 Umum

Jumlah susunan tiang, tiang bor, maupun *caisson* harus ditentukan dari gaya dan momen tak terfaktor yang ditransmisikan ke komponen tiang izin berdasarkan prinsip – prinsip mekanikan tanah dan batuan.

### 2.10.2 Pile Cap

- a. Ketebalan total *pile cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm.
- b. *Pile cap* harus didesain sedemikian rupa sehingga memenuhi:
  - $\phi V_n \geq V_u$  untuk pondasi satu arah
  - $\phi v_n \geq v_u$ , untuk pondasi dua arah
- c. Bila *pile cap* didesain sesuai dengan pemodelan *strut-and-tie*, kuat tekan beton efektif dari strut,  $f_{ce}$ , harus dihitung sesuai pasal 23.4.3, dimana  $\beta_s = 0,60\lambda$
- d. Kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton dan diambil nilai terkecil dari:
  - $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.37)
  - $V_c = 0,083 \left(\frac{A_s d}{b_0} + 2\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.38)
  - $V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$  .....(Persamaan 2.39)