

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

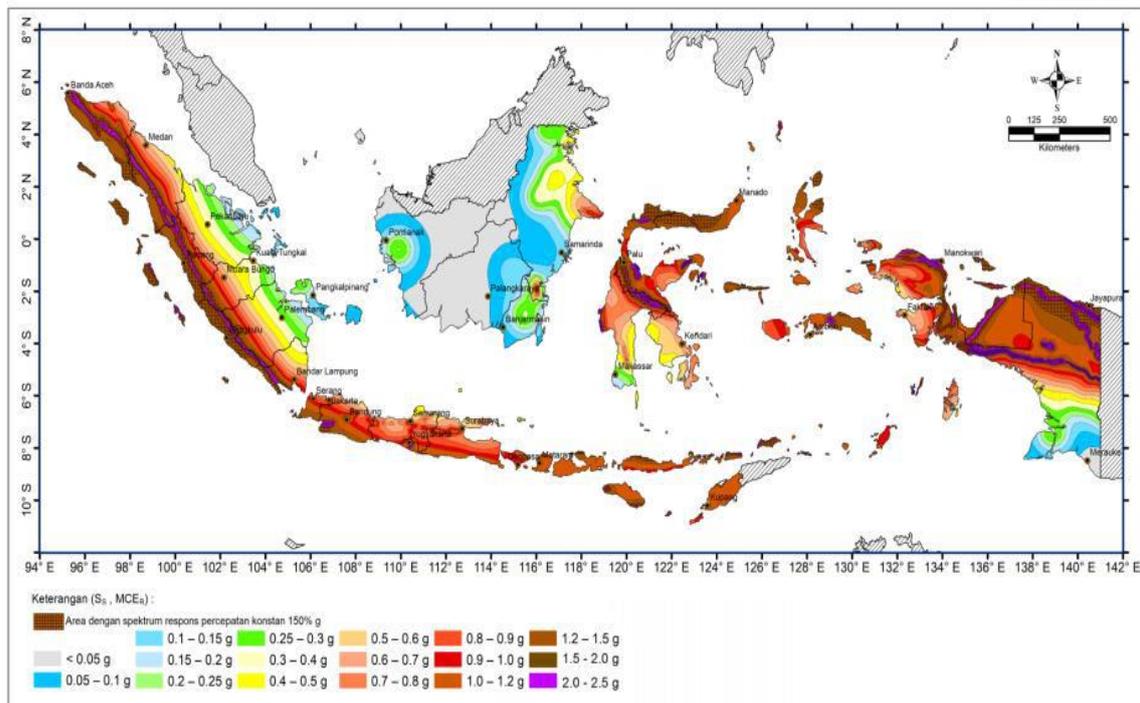
2.1 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Merencanakan suatu struktur gedung pada daerah tahan gempa haruslah menjamin struktur gedung tersebut agar tidak rusak atau runtuh dari gempa yang begitu kecil maupun gempa yang begitu kuat. Dalam perencanaan gedung di daerah rawan gempa, gedung dengan segenap komponen struktur penahan gempa harus direncanakan dan dibuat mendetail sedemikian rupa sehingga keseluruhannya mampu memberikan perilaku daktail sepenuhnya, artinya saat menerima beban sampai melebihi kuat elastisnya struktur tidak langsung pecah atau rusak, namun berubah bentuk terlebih dahulu secara plastis sampai batas tertentu pada saat terjadi gempa (Dipohusodo, 1994).

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung bertingkat dengan memerlukan suatu sistem yang sesuai agar bisa digunakan lebih maksimal. 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*.

2.2 Wilayah Gempa

Berdasarkan wilayah gempa pada perencanaan ini peta MCE_R tahun 2019 menunjukkan parameter setiap wilayah di Indonesia berbeda beda pada tiap kota maupun koordinat. Peta MCE_R juga menunjukkan parameter S_I yaitu percepatan batuan pendek. Pada peta wilayah Indonesia menurut SNI 1726:2019 dengan periode ulang 50 tahun seperti terlihat pada Gambar 2.1. Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa. Wilayah zona 1 yaitu merupakan dengan tingkat zona paling rendah, begitupun juga zona 6 merupakan dengan wilayah tingkat zona yang paling tinggi.



Gambar 2. 1 Peta Wilayah Gempa Indonesia

2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa

Perencanaan gedung Hotel Dracarys ini yang direncanakan tahan gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2% berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.1. Hotel Dracarys ini yang sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2. bahwa bangunan hotel atau setara dengan gedung perkantoran maka dikategorikan dalam kategori resiko II dengan dengan nilai faktor keutamaan gempa $I_e = 1,0$. Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 4.1.2, Tabel 4

2.4 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan kelas situs berdasarkan indentifikasi kondisi tanah dilapangan. Tabel klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\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

<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (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 sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

CATATAN: N/A = Tidak Dapat Dipakai, Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 5.3. Tabel 5

2.4.1 Analisa Respon Situs untuk Tanah Kelas Situs SF

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 5.3.1 diklasifikasikan sebagai kelas situs *SF*, serta selanjutnya investigasi geoteknik spesifik serta analisis respon spesifik.

1. Tanah yang rawan berpotensi gagal atau runtuh akibat seismik seperti mudah likuifaksi tanah lempung sangat sensitif, dan tanah bersementasi lemah
2. Lempung kadar organik tinggi dan/atau gambut, dengan ketebalan, $H > 3$ m
3. Lempung dengan plastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan, $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas, $PI > 75$
4. Lempung lunak atau lempung dengan kekuatan sedang yang memiliki ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa

2.4.2 Menentukan Respons Spektral

Untuk penentuan respon spectral percepatan gempa MCE_R 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 respons spectral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (2.2)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

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

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.4 dan Tabel 2.5

Tabel 2. 2 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R) terpetakan pada periode pendek , $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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 ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 6.2. Tabel 6

CATATAN: SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs – spesifik

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCE_R) terpatakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
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
SB	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 ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 6.2. Tabel 7

CATATAN: SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs – spesifik

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.4)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai S_{DI} tidak perlu ditentukan.

Bila spectrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.2 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan ;

$$S_a = S_{DS} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0}) \quad (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DI}

3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respon spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} =$$

Keterangan :

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

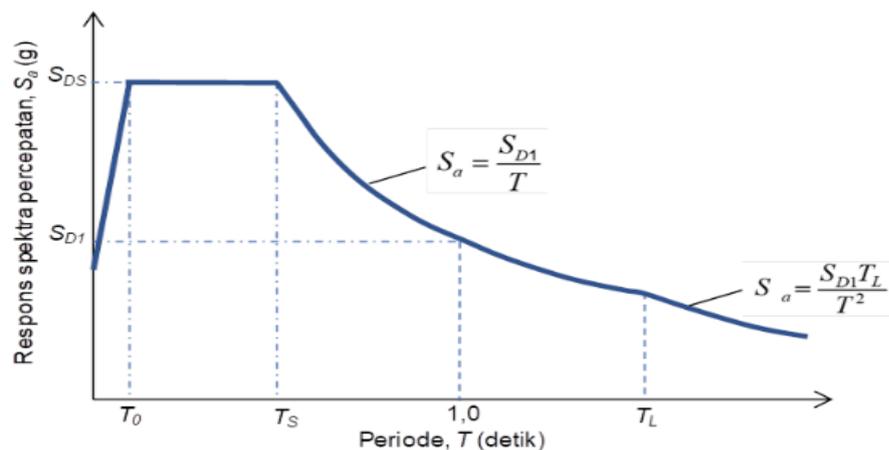
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

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

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

T_0 = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Spectrum Respons Desain

(Sumber SNI 1726:2019, Pasal 6.4 Gambar 3)

2.5 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.5 struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko **I,II,III** yang berlokasi dimana parameter respons spektral 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 risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan para periode 1 detik, S_1 lebih besar atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur

lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} dengan mengacu pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2. 3 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
$0,167 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 6.5. Tabel 8

Tabel 2. 4 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
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 6.5. Tabel

2.6 Perencanaan Beban Gempa

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.

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

5. $0,9D + 1,0W$

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.

6. $1,2D + E_v + E_h + L$

7. $0,9D - E_v + E_h$

2.6.1 Periode Funda Mental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1 periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \tag{2.6}$$

Keterangan : h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur , dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.7.

Tabel 2. 5 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 7.8.2.1 Tabel 18

2.6.2 Distribusi Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \tag{2.7}$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \tag{2.8}$$

Keterangan :

- 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

sebagai berikut:

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 dan 2

2.6.2.1 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.9)$$

Keterangan :

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

2.6.3 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ($\Delta\delta$) seperti di dapat untuk semua tingkat.

Tabel 2. 6 Simpangan antar tingkat izin

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 di desain untuk mengakomodasi antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019. Pasal 7.12.1 Tabel 20

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

$$\delta x = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} \quad (2.10)$$

Dimana :

C_d = faktor amplikasi defleksi

δ_{xe} = defleksi struktur

I_e = Faktor keutamaan gedung

2.7 Perencanaan Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder adalah bagian struktur gedung yang tidak menahan kekuatan secara penuh, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang mengenai bagian struktur tersebut secara langsung. Adapun dalam perencanaan struktur sekunder, komponen-komponen yang direncanakan antara lain adalah komponen pelat dan balok anak. Perencanaan struktur sekunder mengacu pada peraturan SNI 2847-2019

Pelat beton bertulang banyak digunakan pada bangunan sipil, baik sebagai lantai bangunan, lantai atap dari suatu gedung, lantai jembatan maupun lantai pada dermaga. Beban yang bekerja pada pelat umumnya diperhitungkan terhadap beban gravitasi (beban mati dan/atau beban hidup). Beban tersebut mengakibatkan terjadi momen lentur, Asroni (2010)

Untuk pelat tempat rasio sisi panjang (l_y) dan sisi pendek (l_x) lebih dari 2 dapat dikategorikan sebagai sistem pelat satu arah sementara rasio sisi panjang (l_y) dan sisi pendek (l_x) kurang dari 2, maka dapat digunakan digunakan sistem pelat dua arah.

2.7.1 Perencanaan Pelat Satu Arah

berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1 untuk pelat nonprategang yang tidak tertumpu 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 7.3.1.1 SNI 2847:2019.

Tabel 2. 7 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$

Kantilever	$l/10$
------------	--------

Sumber: SNI 2847:2019. Pasal 7.3.1.1 Tabel 7.3.1.1

- Pada SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1.1 untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada Tabel 2.10 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

1. Kekuatan perlu

- Momen terfaktor

Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, M_u ditumpuan dipernankan dihitung pada muka tumpuan.

- Geser terfaktor

Untuk pelat yang dibangun menyatu dengan tumpuan, V_u di tumpuan dipernankan dihitung pada muka tumpuan.

2. Kekuatan Desain

untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain disemua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$

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

3. Batasan Tulangan

Tabel 2. 8 $A_{s,min}$ untuk pelat satu arah nonprategang

Tipe tulangan	f_y MPA	$A_{s,min}$	
Batang ulir	<420	$0,0020A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari :	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014A_g$

Sumber: SNI 2847:2019. Pasal 7.6.1.1 Tabel 7.6.1.1

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

- $V_u > \phi V_c$

2.7.2 Perencanaan Pelat Dua Arah

Pelat lantai dua arah merupakan suatu sistem pelat yang ditopang pada keempat sisi nya. Persyaratan dasar untuk pelat dua arah adalah bahwa rasio bentang panjang dan

bentang pendeknya kurang dari dua. Beban dari pelat lantai ke jenis pelat ini kemudian didistribusikan ke keempat sisi pelat atau ke empat balok bantalan beban, sehingga tulangan utama pelat dibutuhkan di kedua arah pelat sisi. Sistem pelat dua arah memungkinkan terjadinya lendutan yang relatif kecil yang disebabkan adanya balok yang menopang pelat dapat meningkatkan kekakuan pelat (Kusuma, 2020). Untuk pelat nonprategang diantara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan tabel 2.11.

Tabel 2. 9 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)

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	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/29$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1 Tabel 8.3.1.1

- (1) ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan.
- (2) Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear
- (3) Drop panel sesuai 8.2.4
- (4) Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7

Sumber SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1

Tabel 2. 10 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ell n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) ^{(2),(3)}
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ell n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	(d) ^{(2),(3)}
		90	(e)

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2 Tabel 8.3.1.2

1. Batas lendutan

Untuk pelat nonprategang ε_t sekurang – kurangnya 0,004

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 yang untuk geser dua arah

3. Batasan tulangan

Tabel 2. 11 $A_{s,\min}$ untuk pelat dua arah nonprategang

Jenis tulangan	f_y , MPA	$A_{s,\min}$, mm ²	
Batang ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang ulir atau kawatt las	≥ 420	Terbesar dari :	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			0,0014 A_g

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 8.6.1.1 Tabel 8.6.1.1

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.

2.7.3 Balok Anak

Dalam perencanaan pembangunan gedung ini menggunakan balok anak untuk mendukung struktur. Fungsi balok anak disini berfungsi untuk menopang momen plat supaya tidak terjadi lendutan yang besar, akibat plat yang terlalu lebar.

2.7.4 Balok Penggantung Lift

Lift angkutan transportasi vertikal yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang. Lift umumnya digunakan di gedung-gedung bertingkat tinggi. Perencanaan yang dilakukan meliputi balok – balok yang berkaitan dengan mesin penggantung lift.

Dalam PPPURG 1987 Pasal 3.3.(3) tertulis bahwa beban keran yang membenani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah dengan berat muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan menurut rumus berikut:

$$\psi = (1 + k_1 \cdot k_2 \cdot v) \geq 1,15 \quad (2.11)$$

Keterangan:

ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

k_1 = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/det

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan dapat diambil sebagai berikut:

- Pada mesin listrik biasa atas mesin-mesin lain dengan sifat-sifat yang sejenis $k_2 = 1,0$
- Pada mesin sangkar asinkron dan mesin termis dengan kopling $k_2 = 1,3$
- Pada mesin dengan pembatas percepatan otomatis:
 - + Dengan alat cengkeram $k_2 = 0,75$
 - + Dengan alat kait $k_2 = 0,50$

2.7.5 Tangga

Tangga merupakan bagian dari struktur bangunan bertingkat yang sangat penting sebagai penunjang antara struktur bangunan lantai dasar dengan struktur bangunan tingkat atasnya. Penempatan tangga pada struktur suatu bangunan sangat berhubungan dengan fungsi bangunan bertingkat yang akan dioperasikan. Pada bangunan umum, penempatan haruslah mudah diketahui dan strategis untuk menjangkau ruang satu dengan lainnya, penempatan tangga harus disesuaikan dengan fungsi bangunan untuk mendukung kelancaran hubungan yang serasi antara pemakai bangunan tersebut

2.8 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer merupakan komponen utama yang berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral (beban gempa). Adapun dalam perencanaan struktur primer, komponen-komponen yang direncanakan antaralain adalah komponen balok induk, kolom.

2.8.1 Perencanaan Balok Induk

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1 untuk balok nonprategang yang tidak mampu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh dari batas maksimum pada tabel 2.14

Tabel 2. 12 Tinggi minimum balok nonprategang

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

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1 Tabel 1.3.1.1

Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada tabel 2.14 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

Untuk balok nonprategang dari beton ringan w_c berkisar 1440 hingga 1840 kg/m³, persamaan pada Tabel 2.14 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari :

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

Untuk balok nonprategang dengan $P_u < 0,10f'_c A_g$, ϵ_t sekurang – kurangnya 0,004.

1. Kekuatan rencana

Untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, kekuatan desain disemua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi keempat persyaratan dibawah. 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. $\phi P_n \geq P_u$

2. Batasan tulangan

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

- a. $\frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$
- b. $\frac{1,4}{f_y} b_w d$

Luas minimum tulangan geser $A_{v,min}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5\phi V_c$, kecuali kasus pada tabel 2.15 untuk kasus ini sekurang – kurangnya $A_{v,min}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Tabel 2. 13 Kasus dimana $A_{v,min}$ tidak diperlukan jika $0,5\phi V_c > V_c > \phi V_c$

Tipe Balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250$ mm
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dari 2,5 t_f atau 0,5 b_w dan $h \leq 600$ mm
Dibangun dengan beton bobot normal bertulang serat baja sesuai dengan $f'_c \leq 40$ MPa	$h \leq 600$ mm dan $V_u \leq \phi 0,17 \sqrt{f'_c} b_w d$
Sistem pelat berusuk satu – arah	sesuai dengan pasal 9.8

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 9.6.3.1 Tabel 9.6.3.1

3. Spasi tulangan geser

Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai dengan tabel 2.16

Tabel 2. 14 Persyaratan spasi maksimum tulangan geser

V_s	Maksimum s, mm		
		Balok nonprategang	Balok prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$	Terkecil dari :	d/2	3h/4
		600	
$> 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$	Terkecil dari :	d/4	3h/8
		300	

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 9.7.6.2.2 Tabel 9.7.6.2.2

- a. Tulangan torsi longitudinal harus diteruskan sejarak sekurang - kurangnya $(b_t + d)$ melewati titik yang disyaratkan oleh analisis
- b. Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi $P_h / 8$ dan 300 mm
Spasi tulangan transversal harus tidak melebihi sekurang – kurangnya diantaranya :
 - $16d_b$ tulangan longitudinal
 - $48d_b$ tulangan transversal
 - Dimensi terkecil balok

2.8.2 Perencanaan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.3.1.3 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.

1. Kekuatan desain

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

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

2. Batasan tulangan

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata $f_{pe} < 1,6$ MPa, luas tulangan longitudinal harus sekurang – kurangnya $0,01 A_g$, namun tidak boleh melebihi $0,08 A_g$

Luas minimum tulangan geser , $A_{v\ min}$ harus disediakan disemua wilayah dimana $V_u > 0,5 \phi V_c$

Bila tulangan geser diperlukan, $A_{v\ min}$ harus lebih besar dari :

a. $0,062\sqrt{f'c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$

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

3. Pendetailan tulangan

Tulangan longitudinal

Untuk kolom nonprategang dan kolom prategang dengan nilai rata – rata $f_{pe} < 1,6$ MPa

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

4. Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.1 Jika diperlukan, tulangan geser harus menggunakan sengkang ikat, sengkang pengegang, atau sengkang spiral. Spasi maksimum tulangan geser harus sesuai Tabel 2.17

Tabel 2. 15 Persyaratan spasi maksimum tulangan geser

V _s	Maksimum s, mm		
		Balok nonprategang	Balok prategang
$\leq 0,33\sqrt{f'c}b_w d$	Terkecil dari :	d/2	3h/4
		600	
$> 0,33\sqrt{f'c}b_w d$	Terkecil dari :	d/4	3h/8
		300	

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 10.7.6.5.2 Tabel 10.7.6.5.2

2.9 Persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yaitu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dipakai untuk daerah dengan resiko gempa tinggi wilayah gempa 5 dan 6.

2.9.1 *Stroung- Coloum Weak-Beam*

Konsep perencanaan desain kolom kuat balok lemah atau yang dikenal dengan istilah Strong Column Weak Beam (SCWB) adalah salah satu inovasi desain struktur dengan cara membuat sistem struktur yang fleksibel yang mampu berdeformasi saat terjadi gempa. Konsep ini digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi dan diharapkan kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok. (Mi Wibowo , 2020).

2.9.2 Menghindari Keruntuhan Geser

Respon yang bersifat daktail diharapkan terjadi pada balok, dan pada saat yang sama tidak boleh terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan geser khususnya pada kolom sangat fatal bagi struktur karena kolom pada satu lantai menumpu semua lantai di atasnya.

Dalam ketentuan SRPMK, keruntuhan geser dihindari dengan pendekatan desain kapasitas. Gaya geser yang diperhitungkan bukan hanya berasal dari gaya geser akibat beban gravitasi (beban hidup, beban mati) tapi juga mempertimbangkan beban geser yang berasal dari kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami leleh (Patrisko, Servi O, Ronny, 2018)

2.9.3 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Sementara faktor daktilitas struktur gedung dalam SNI 03-1726:2002 merupakan rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan δm dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama δy .

1. Tingkat Daktilitas

Mengenai tingkat daktilitas, Tata Cara Perencanaan Struktur Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung dan non gedung SNI 03-1726:2002, mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut:

- a. Daktail penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung, dimana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencaai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
- b. Daktail parsial adalah seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas diantara untuk struktur gedung yang elastic penuh sebesar 1,0 dan untuk struktur gedung yang daktail penuh sebesar 5,3.
- c. Elastic penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0.

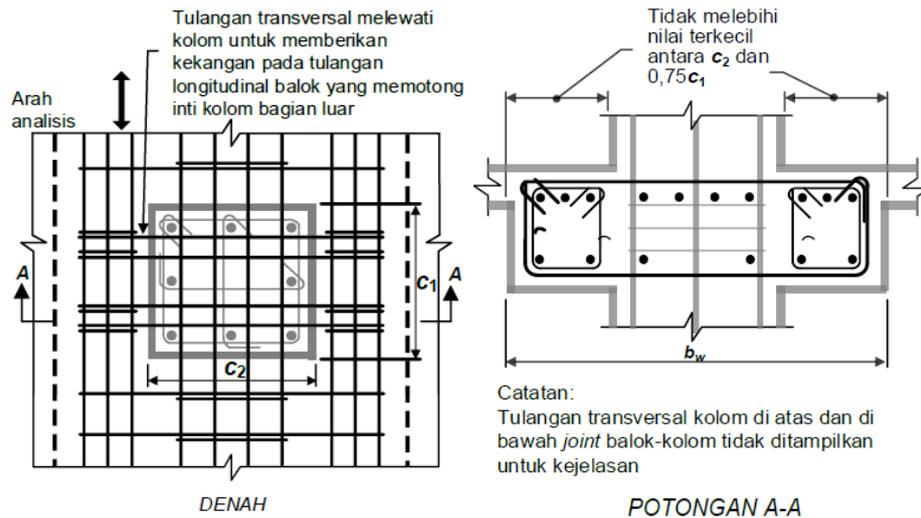
2.9.4 Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan 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. Pada standar sebelumnya, setiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor melebihi $(A_g f'_c / 10)$ akibat setiap kombinasi beban harus diproporsionalkan dan didetailkan seperti yang dijelaskan dalam 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.

1. Batasan dimensi

balok harus memenuhi

- Bentang bersih, ℓ_n , harus minimal $4d$
- Lebar penampang b_w , harus sekurangnya nilai terkecil $0,3h$ 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.



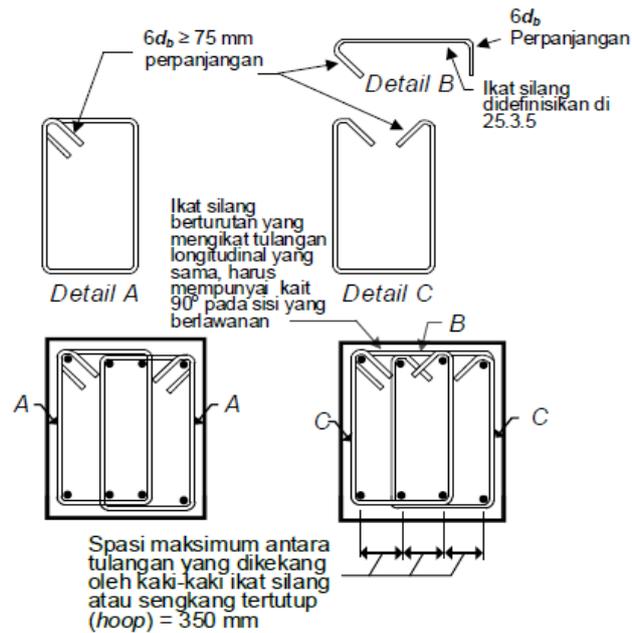
Gambar 2. 3 Lebar efektif maksimum balok lebar (wide beam) dan persyaratan tulangan transversal (Sumber SNI 2847:2019)

2. 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.

3. Tulangan transfersal

- a. Sengkang pengekang harus dipasang pada balok daerah berikut:
 - Sepanjang jarak yang sama dengan dua kalitinggi 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 pengekang 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 pengekang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:
 - $d/4$
 - Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama.
 - 150 mm.
- e. Bila sengkang pengekang tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok.



Gambar 2. 4 Contoh sengkang tertutup (hoop) dan dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal

4. Kekuatan geser

1. 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.
2. Tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi harus didesain untuk menahan gaya geser dengan mengasumsikan $V_e = 0$ bilamana kedua terpenuhi:
 - a. Gaya geser akibat beban gempa yang dihitung sesuai point a mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
 - b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c / 20$

2.9.5 Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.1 ruang lingkup pasal ini berlaku kolom untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik dan utamanya didesain untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial. 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

1. Kekuatan lentur minimum kolom

kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (2.12)$$

ΣM_{nc} adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom – kolom yang merangka kedalam joint, yang dievaluasi dimuka- muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk haya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya – gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur rendah.

ΣM_{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. Harus dipenuhi untuk momen – momen balok yang bekerja pada kedua arah pada bidang vertical rangka yang ditinjau.

2. Tulangan longitudinal

Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$

Pada kolom – kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.

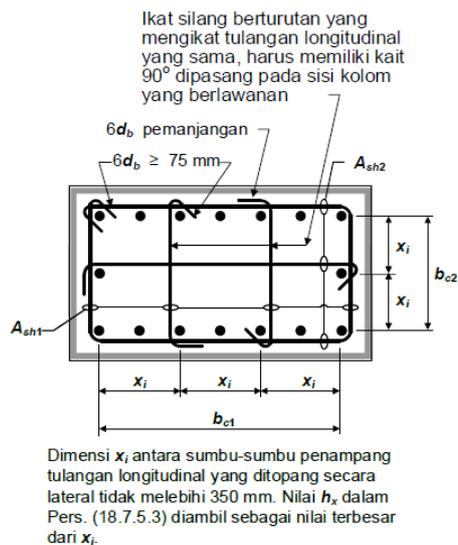
3. Tulangan transfersal

Tulangan transfersal yang disyaratkan harus dipasang sepanjang ℓ_0 dari masing – masing muka joint pada kedua sisi seberang penampang dimana pelelehan lentung dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastic. Panjang ℓ_0 tidak boleh kurang dari nilai terbesar.

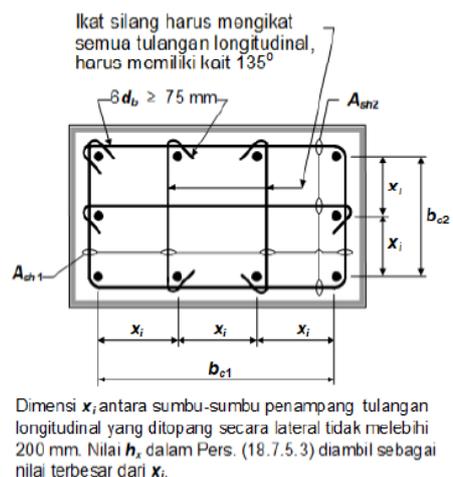
- a. Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
- b. Seperenam tinggi bersih kolom
- c. 450 mm

Tulangan transversal harus sesuai :

- a. Tulangan transversal harus terdiri dari spiral Tunggal atau spiralsaling tumpang (*overlap*) , sengkang pengekang bundar, atau sengkang pengekang persegi, dengan atau tanpa ikat silang.
- b. Setiap lekukan ujung sengkang pengekang persegi dan ikat silang harus mengait batang tulangan longitudinal terluar.
- c. Ikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil dari diameter sengkang pengekang diizinkan sesuai batasan. Ikat silang yang berurutan harus diselang – selang ujungnya sepanjang tulangan longitudinal dan sekeliling perimeter penampang.
- d. Jika digunakan sengkang pengekang persegi ataupun ikat silang, tulangan transversal tersebut harus berfungsi sebagai tumpuan lateral untuk tulangan longitudinal.
- e. 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 pengekang tidak boleh melebihi 350 mm.
- f. Ketika $P_u > 0,3A_g f_c' > 70$ MPa pada kolom dengan sengkang pengekang, setiap batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom harus memiliki tumpuan lateral yang diberikan oleh sudut dari sengkang pengekang 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 $P_u > 0,3A_g f_c' > 70 \text{ MPa}$

g. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari :

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

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

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

- Faktor kekuatan beton k_f dan faktor keefektifan pengekanan k_n dihitung berdasarkan :

$$k_f = \frac{f_c'}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$k_n = \frac{n_\ell}{n_\ell - 2}$$

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 2.21 Tulangan transversal untuk kolom – kolom sistem rangka pemikul momen khusus

Tulangan tansfersal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
$A_{sh}/s_b c$ Untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70$ 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)
	$P_u > 0,3A_g f_c'$ dan $f_c' > 70$ Mpa	terbesar antara (a) (b) dan (c)	$0,2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4 Tabel 18.7.5.4

4. Kekuatan geser

- 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.
- Tulangan transversal sepanjang l_0 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsuikan $V_e = 0$ bila terjadi :
 - a. Gaya geser akibat gempa, setidaknya setengah kekuatan
 - b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$.

2.9.6 Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.1. joint balok – kolom sistem rangka pemikul momen khusus yang merupakan bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

- a. Gaya – gaya pada tulangan longitudinal balok di muka joint harus dihitung dengan mengasumsuikan tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$.
- b. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan di dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka terjauh dari inti kolom terkekang dan harus disalurkan dalam tarik sesuai dan dalam tekan sesuai.

- c. 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*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.
- d. Tinggi h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok – balok yang merangka pada joint tersebut dan yang menyebabkan geser pada joint sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

1. 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 2.9.3 poin 3 poin e diizinkan untuk direduksi setengahnya, dan spasi yang diisyaratkan pasal 2.9.3 poin 3 poin g 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 2.9.3 poin 3 poin e, dan persyaratan 2.9.2 poin 3 poin c, 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.

2. Kekuatan geser

Kekuatan geser V_n joint harus sesuai tabel 2.18

Tabel 2. 16 Kekuatan geser nominal join V_n

Konfigurasi joint	V_n
Untuk joint yang terkekang oleh balok – balok pad keempat sisinya ⁽¹⁾	$1,7\lambda\sqrt{f'c}A_j^{(2)}$

Untuk joint yang terkekang oleh balok – balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ⁽¹⁾	$1,2\lambda\sqrt{f'c'}A_j^{(2)}$
Untuk kasus – kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f'c'}A_j^{(2)}$

Catatan : ⁽¹⁾ mengacu pada 18.8.4.2

⁽²⁾ λ diambil 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal, nilai A_j berdasarkan 18.8.4.3

Sumber SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 Tabel 18.8.4.1

- a. Pada tabel 2.22, suatu muka joint dianggap terkekang oleh balok apabila lebar balok tersebut paling tidak tiga perempat dari lebar efektif joint. Perpanjangan balok yang melewati muka joint setidaknya sama dengan balok h boleh dianggap memberikan kekangan pada muka joint tersebut
- b. 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 dari
 - Lebar balok ditambah tinggi joint
 - Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom

3. Panjang penyaluran tulangan tarik

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

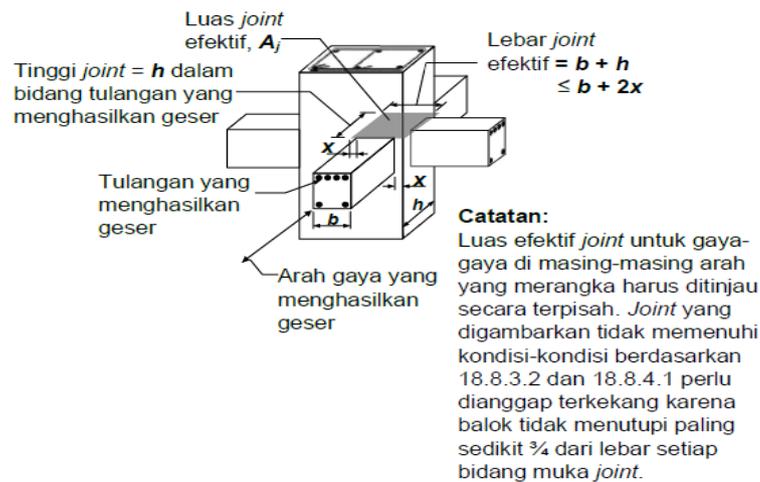
$$\ell_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'c'}}$$

nilai λ adalah 0,75 untuk beton ringan dan 1,0 untuk beton normal

Kait standart 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 antara

- 2,5 panjang sesuai 2.9.4 point 3 bila beton yang dicor dibawah tulangan tersebut tidak melebihi 300 mm
 - 3,25 kali panjang sesuai 2.9.4 point 3 bila tinggi beton yang dicor bersamaan dibawah 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 didalam inti terkekang harus diperpanjang dengan faktor sebesar 1,6 kali.



Gambar 2. 7 Luas joint efektif

2.10 Perencanaan Pondasi

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem struktur bawah (sub structure) yang menahan berat sendirinya dan seluruh beban gaya dari struktur atas, kemudian meneruskannya ke lapisan tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Beban dari kolom yang bekerja pada pondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman (Muchlisin Riadi , 2020)

Ada beberapa pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal yaitu pondasi yang bisa digunakan apabila lapisan tanah dengan kondisi yang baik dan terletak tidak terlalu dalam dari permukaan, sedangkan pondasi dalam yaitu pondasi yang digunakan pada permukaan tanah dengan tingkat daya dukung tanah rendah.

Pondasi dangkal diantaranya yaitu :

- pondasi setempat, pondasi lanjur/menerus, pondasi full plat, pondasi cakar ayam dan pondasi strauzst pile.

Pondasi dalam diantaranya yaitu :

- Pondasi tiang pancang & pondasi bore pile.

2.10.1 Pondasi Tiang Pancang

Fungsi kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentrasfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam (Hutami, 2013). Tiang pancang umumnya digunakan untuk mengangkat beban-beban konstruksi di atas tanah ke dalam atau melalui sebuah lapisan tanah dan juga beserta mutu yang dibuat oleh pabrik sesuai dengan spek yang diinginkan oleh pelanggan sehingga pelaksana dilapangan tidak kebingungan dengan mutu yang akan di gunakan karena tiang pancang buatan cetakan dari pabrik sesuai dengan pemesanan yang di inginkan. Berdasarkan hal ini beban vertikal dan beban lateral boleh jadi terlibat , untuk menentang gaya desakan keatas, gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bawah bidang batas air jenuh atau untuk menopang kaki-kaki menara terhadap guling (Hutami, 2013).

Adapun perumusan daya dukung ultimit menurut Meyerhoff dinyatakan dengan rumus:

$$Q_u = \frac{q_c \cdot A_b}{3} + \frac{JHL \cdot K}{5} \quad (2.13)$$

$$Q_{ult} = \frac{\sum Q_c}{n} \quad (2.14)$$

Keterangan :

q_c = nilai konus

A_b = Luas penampang (m^2)

JHP = Jumlah hambatan lekat dari data CPT (kg/cm)

K = keliling tiang (m)

Q_u = Nilai daya dukung tanah (ton)

Q_{ult} = Nilai daya dukung maksimum (ton)

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

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

Perhitungan daya dukung tiang pancang yang menurut hasil uji sondir yaitu sebagai berikut:

- a. Panjang ekuivalen dari penetrasi tiang

N rata – rata pada jarak 8D ke atas dari ujung $\overline{N1}$

N rata – rata pada jarak 4D ke dari ujung tiang $\overline{N2}$

$$N \text{ rata – rata } N = \frac{\overline{N1} + \overline{N2}}{2}$$

b. Menghitung gaya geser dinding tiang pancang dengan perhitungan :

- Menentukan harga rata – rata N bagi lapisan – lapisan tanah

- Memperkirakan gaya geser dinding tanah

- Menghitung sumbangan gaya geser tiang

Total gaya geser maksimum pada dinding tiang:

$$Q_f = U \sum_i f_{si} \quad (2.15)$$

$$Q_{sp} = \frac{1}{s_f} (Q_p + Q_f) \quad (2.16)$$

Daya dukung tiang pancang diambil nilai terkecil antara kekuatan bahan atau kekuatan tanah.

Dalam (Hartini, 2021) , faktor aman (n) diperlukan untuk memprediksi besarnya kapasitas ijin pondasi tiang tunggal (Q_{ijin}) berdasarkan prediksi nilai Q ultimit. Alasan diperlukannya faktor aman dalam mendesain pondasi tiang antara lain adalah :

- a. Untuk memberikan keamanan terhadap tidak kepastian metode hitungan yang digunakan.
- b. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang Tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas toleransi.
- c. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

c. Kontrol kebutuhan tiang pancang

$$n = \frac{\Sigma P}{P_{ijin}} \quad (2.17)$$

p tiang yang dizinkan

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_y y_{maks}}{\Sigma y^2} \quad (2.18)$$

$$P_{maks} = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_y y_{maks}}{\Sigma y^2} < P_{ijin} \quad (2.19)$$

$$P_{min} = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x_{maks}}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_y y_{maks}}{\Sigma y^2} > 0 \quad (2.20)$$

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre :

$$Q_{tiang} = \eta \times P_{ijin} \times P_{maks} \quad (2.21)$$

$$Evisiensi (\eta) = 1 - \left(\arcsin \theta \left(\frac{D}{s} \right) \left(\frac{m(n-1)+n(m-1)}{m \times n \times 90} \right) \right) \quad (2.22)$$

d. Cek kekuatan

$$P_{maks} < (P_{ijin} \times \eta) \quad (2.23)$$

Keterangan:

V = Beban vertikal yang dipikul kaki kolom (Ton atau Kgm)
Mx = Momen arah sumbu x (tm atau Kgm)

My = Momen arah sumbu y (tm atau Kgm)

n = Jumlah tiang pancang dalam kelompok

$\sum X^2$ = Jumlah kuadrat dari absis

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat dari ordinat

S = Jarak antar tiang pondasi

D = Diameter tiang pancang

m = Jumlah tiang pancang dalam satu kolom

n = Jumlah tiang pancang dalam satu baris

2.10.2 Perencanaan *Pilecap*

Pile cap digunakan untuk mengikat tiang pancang yang sudah terpasang. Fungsi dari *pile cap* adalah untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terdistribusikan ke tiang pancang. Berdasarkan SNI 2847:2019 sebagai berikut :

- a. Ketebalan total *pile cap* harus sedemikian rupa sehingga tinggi efektif tulangan bawah tidak kurang dari 300 mm.
- b. *Pile cap* harus didesain sesuai :
 - $\phi V_n \geq V_{um}$ dimana V_n harus dihitung sesuai untuk geser satu arah
 - $\phi V_n \geq V_{um}$ dimana V_n harus dihitung sesuai untuk geser dua arah
- c. Bila *pile cap* didesain sesuai dengan pemodelan strut-and-tie seperti yang diizinkan pada, kuat tekan beton efektif dari strut, f_{ce} , harus dihitung kuat tekan beton efektif dari strut, f_{ec} , harus dihitung dimana $\beta_s = 0,60\lambda$
- d. Kuat geser yang terjadi disumbangkan oleh beton diambil nilai terkecil dari :
 - $V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d$ (2.24)

$$- V_c = 0,084 \left(2 + \frac{A_s d}{b_0} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d \quad (2.25)$$

$$- V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} b_0 d \quad (2.26)$$

Keterangan:

β = Rasio dari sisi Panjang terhadap sisi pendek pada kolom (h/b)

b_0 = Keliling dari penampang kritis pada pilecap (mm)

d = Tinggi efektif (mm)

A_s = 20 untuk kolom sudut, 30 untuk kolom tepi, 40 untuk kolom interior

λ = Faktor modifikasi untuk beton normal = 1,