

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur menggunakan kombinasi pembebanan yang didalamnya terdapat beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019 pembebanan.

3.1.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 4.2.2, yaitu :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

D = beban mati (*dead load*)

L = beban hidup (*live load*)

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

ρ = faktor redundansi

E_x = beban gempa arah horizontal

E_y = beban gempa arah vertikal

Pengecualian:

Beban faktor untuk L dalam kombinasi 3 sampai 10 boleh diambil nilai 0,5 kecuali untuk garasi, ruang pertemuan, dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya melebihi 500 kg/m^2 .

3.1.2 Faktor Reduksi Kekuatan

1. SNI 2847:2019 pasal 21.2.1, mengatur tentang faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural, dan untuk sambungan harus sesuai dengan tabel 3.1, terkecuali untuk yang termodifikasi pada poin (2),(3),dan (4).

Tabel 3.1 Faktor reduksi kekuatan ϕ

No.	Keterangan	ϕ
1.	Geser dan torsi.	0,75
2.	Tumpuan.	0,65
3.	Zona angkur pascatarik.	0,85
4.	<i>Bracket</i> dan korbel.	0,75
5.	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strutand-tie</i> .	0,75
6.	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen aja dalam tarik.	0,90
7.	Beton polos.	0,60
8.	Angkur dalam elemen beton.	0,45 - 0,75

2. SNI 2847:2019 pasal 21.2.2, mengatur tentang faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial harus sesuai tabel 3.2.

Tabel 3.2 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ	
		Jenis tulangan transversal	
		Tulangan spiral	Tulangan lainnya
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Terkendali tekan	0,75	0,65
$\epsilon_t < \epsilon_{ty} < 0,005$	Transisi*	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$
$\epsilon_t \geq 0,005$	Terkendali tarik	0,90	0,90

*untuk penampang transisi, boleh menggunakan nilai faktor reduksi sama dengan penampang terkendali tekan

(sumber: Tabel 21.2.2-SNI 2847:2019, hal 47)

3. SNI 2847:2019 pasal 21.2.4, mengatur tentang faktor reduksi untuk nilai gaya geser struktur sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan dinding struktural pracetak menengah yang telah

memenuhi syarat kategorin desain seismik D, E, atau F, harus dilakukan modifikasi sebagai berikut:

- a. Teruntuk komponen yang didesain untuk menahan gaya gempa, apabila kekuatan nominal penampang kurang dari kekuatan nominal beton, nilai faktor reduksi geser digunakan 0,60
- b. Teruntuk diafragma, nilai faktor reduksi untuk gaya geser tidak boleh lebih besar dari nilai faktor reduksi minimum yang digunakan kepada komponen vertikal dalam sistem struktural tahan gempa.
- c. Teruntuk sambungan pada balok-kolom dan balok-kopel yang menggunakan tulangan diagonal, nilai faktor reduksi sebesar 0,85

3.2 Perencanaan Beban Gempa

3.2.1 Gempa Rencana

SNI 1726:2019 pasal 4.1.1, menjelaskan gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan melampaui besarnya terhadap umur struktur 50 tahun adalah 2 persen.

3.2.2 Klasifikasi Situs

SNI 1726:2019 pasal 5, menjelaskan bahwa klasifikasi situs diperlukan untuk mendapatkan kriteria desain seismik yang berupa faktor-faktor amplifikasi bangunan. Sebuah profil tanah pada suatu situs harus diklasifikasikan berdasarkan pada tabel 3.3, dengan berdasarkan profil tanah lapisan 30m terdalam.

Tabel 3.3 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
SC (tanah keras, sangat padat dan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SF (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $W > 40\%$ 3. Kuat geser nilaril, $\bar{S}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap bagian profil tanah yang memiliki satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau rumah akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(sumber: Tabel 5-SNI 1726:2019, hal 29)

Nilai \bar{V}_s , \bar{N} dan \bar{S}_u ditentukan sesuai dengan perumusan berikut:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (3-19)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3-20)$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{S_{ui}}} \quad (3-21)$$

Keterangan:

\bar{V}_s = kecepatan rata-rata gelombang geser

\bar{N} = tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata

\bar{S}_u = kuat geser niralir

3.2.3 Parameter Percepatan Respons Spektral

SNI 1726:2019 pasal 6.2, untuk nilai S_{MS} dan S_{M1} dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3-22)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3-23)$$

Keterangan:

S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada perioda pendek

S_{M1} = parameter percepatan respons spektral MCE_R pada perioda 1,0 detik

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek.

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1 detik.

Nilai F_a dan F_v ditentukan sesuai dengan tabel 3.4 dan tabel 3.5.

Nilai S_s dan S_1 didapatkan melalui <http://puskim.pu.go.id>.

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,5$
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	0,9
SF	SS^b					

(Sumber: Tabel 6 – SNI 1726:2019, hal 34)

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda, $T = 1$ 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	0,9	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	0,9
SF	SS ^b					

(Sumber: Tabel 7 – SNI 1726:2019, hal 34)

3.2.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

SNI 1726:2019 pasal 6.3, mengatur tentang parameter percepatan spektral desain, untuk perioda 1 detik (S_{D1}) dan parameter percepatan spektral desain perioda pendek (S_{DS}) menggunakan persamaan dibawah ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms} \quad (3-24)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{m1} \quad (3-25)$$

3.2.5 Kategori Risiko Bangunan

Setiap jenis bangunan memiliki kategori risiko bangunan yang berbeda-beda. Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2, setiap bangunan dikategorikan berdasarkan fungsi bangunan tersebut, jenis pemanfaatan akan dijelaskan pada tabel 3.7.

Tabel 3.6 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <p>Perumahan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan perindustrian - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara, dan bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah 	III

Tabel 3.6 (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>- Pusat telekomunikasi</p> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(sumber: Tabel 4 – SNI 1726:2019, hal 25)

3.2.6 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa (I_e) merupakan faktor pengali terhadap pengaruh gempa rencana yang harus di perhatikan sesuai dengan kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung. Untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, apabila struktur bangunan tersebut membutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV (SNI 1726:2019, pasal 4.1.2), faktor keutamaan gempa (I_e) akan dijelaskan pada tabel 3.8.

Tabel 3.7 Faktor Keutamaan Gempa, I_e

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

(sumber: Tabel – SNI 1726:2019, hal 25)

3.2.7 Kategori Desain Seismik

SNI 1726:2019 pasal 6.5, mengatur tentang kategori desain seismik, yang dimana dapat ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{DI} , tabel 3.8 dan tabel, 3.9.

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Ditinjau dari 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

(sumber: Tabel 8 – SNI 1726:2019, hal 37)

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Ditinjau dari Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

(sumber: Tabel 6 – SNI 1726:2019, hal 37)

3.2.8 Sistem untuk Penahan Gaya Seismik

SNI 1726:2019 pasal 7.2.2, menjelaskan sistem pemikul gaya gempa memiliki R , C_d , dan Ω_0 dengan nilai yang berbeda – beda berdasarkan dengan sistem struktur yang digunakan. Nilai tersebut dapat dilihat pada SNI 1726:2019 hal 49 tabel 9.

3.2.9 Periode Fundamental

SNI 1726:2019 pasal 7.2.2, menjelaskan tentang periode fundamental pendekatan yang harus dihitung sesuai dengan persamaan dibawah ini:

1. Periode fundamental pendekatan minimum

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-26)$$

Keterangan:

h_n adalah tinggi struktur (m), diatas dasar hingga tingkat tertinggi struktur, koefisien C_t dan x ditentukan pada tabel 3.10.

Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

(sumber: Tabel 18 – SNI 1726:2019, hal 72)

2. Periode fundamental pendekatan maksimum

$$T_{a-maks} = C_u T_a \quad (3-27)$$

Tabel 3.11 Koefisien Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

ameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(sumber: Tabel 17 – SNI 1726:2019, hal 72)

Nilai T memiliki syarat dalam penggunaannya sebagai periode fundamental, syarat tersebut adalah:

1. $T_{comp} > T_{a-maks}$, sehingga digunakan T_{a-maks}
2. $T_a < T_{comp} < T_{a-maks}$, sehingga digunakan T_{comp}
3. $T_{comp} < T_a$, sehingga digunakan T_a

3.2.10 Koefisien Respons Seismik

SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1, menyatakan bahwa koefisien repons seismic harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (3-28)$$

Hasil dari perhitungan C_s menggunakan persamaan (3-28), tidak boleh lebih dari hasil dari persamaan dibawah ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T R/I_e} \quad (3-29)$$

Nilai C_s juga tidak boleh kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-30)$$

Pada daerah dimana S_I sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka dihitung nilai C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_{D1}}{R/I_e} \quad (3-31)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

R = faktor modifikasi respons dalam Tabel 9 SNI 1726:2019

I_e = faktor keutamaan gempa dalam Tabel 3.8

T = perioda fundamental struktur dalam (detik)

3.2.11 Gaya Dasar Seismik

SNI 1726:2019 pasal 7.8.1, mengatur tentang penetapan gaya dasar seismik dalam arah yang ditentukan berdasarkan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3-32)$$

Keterangan:

W = berat seismic efektif

3.2.12 Distribusi Beban Gempa

SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 menentukan persamaan untuk perhitungan beban lateral gempa yang timbul disemua tingkat, persamaan tersebut yaitu:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-33)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad (3-34)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-35)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

W_i dan W_x = bagian berat seismic efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i dan x , dalam meter

k = eksponen terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

Jika $T \leq 0,5$ detik, maka $k = 1$

Jika $T \geq 0,5$ detik, maka $k = 2$

Jika $0,5 < T < 2,5$ detik, maka k ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dengan 2

3.3 Perencanaan Pelat

Terdapat dua jenis pelat lantai, jenis tersebut dibagi berdasarkan arah momen lentur pelat lantai tersebut, dua jenis pelat tersebut adalah pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

3.3.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah merupakan pelat yang memiliki hasil nilai perbandingan antara sisi terpendek dengan terpanjang pelat yaitu lebih besar dari 2. SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1, mengatur tentang ketebalan minimum pelat, untuk ketebalan tersebut diatur pada tabel 3.12

Tabel 3.12 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

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

*berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ MPa

(sumber: Tabel 7.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 120)

Tambahan:

- Untuk f_y dengan nilai lebih dari 420 MPa, persamaan pada tabel 3.12, harus dikalikan dengan **(0,4 + $f_y / 700$)**
- Untuk pelat lantai non-prategang dengan bahan beton ringan dan nilai w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m³, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan nilai yang terbesar dari:
 - a) $1,65 - 0,0003 w_c$
 - b) 1,09

3.3.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah merupakan pelat yang memiliki nilai perbandingan antara sisi terpanjang pelat dengan sisi terpendek pelat lebih kecil atau sama dengan 2. SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1, mengatur tentang tebal minimum pelat solid non-prategang, tebal minimum dapat dilihat pada tabel 3.14 nilai dari tebal pelat tidak boleh kurang dari 125 mm (jika tidak menggunakan *drop panel*) atau 100 mm (jika menggunakan *drop panel*).

Tabel 3.13 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Non-Prategang Tanpa Balok Interior*

f_y MPa [†]	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	Panel ekterior		Panel interior	Panel ekterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]	
280	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 40$	$l_n / 40$
420	$l_n / 30$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$
520	$l_n / 38$	$l_n / 31$	$l_n / 33$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

*Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah Panjang bentang bersih dalam arah Panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
[†]Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
 Panel drop didefinisikan dalam SNI 2847:2019 pasal 8.2.4.
[§]Pelat dengan balok diantara kolom kolomnya di sepanjang tepi ekterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang 0,8

(sumber: Tabel 8.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 133)

3.3.3 Perancangan Pelat Lantai

Tahap-tahap dalam merencanakan pelat lantai:

1. Melakukan perhitungan terhadap pembebanan pelat sesuai dengan SNI 1727:2013.
2. Melakukan penentuan momen untuk pelat berdasarkan tabel PBI 1971.
3. Melakukan perhitungan tebal minimum untuk pelat berdasarkan tabel 3.13 dan 3.14.
4. Melakukan perhitungan rasio penulangan pelat dengan rumus:

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d} \quad (3-36)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3-37)$$

$$\rho_{\max} = 0,429 \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \quad (3-38)$$

Keterangan:

R_n = koefisien tahanan

ρ = rasio penulangan

A_s = luas tulangan tarik

b = lebar (1 meter)

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusang tulangan tarik

f_y = kuat leleh baja tulangan

5. Melakukan perhitungan spasi antar tulangan dengan rumus:

$$S = \frac{b \cdot n \cdot A_{s-tul}}{f_y} \quad (3-39)$$

3.4 Perencanaan Balok

3.4.1 Estimasi Dimensi Balok

3.4.1.1 Tinggi Minimum Balok (h)

SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1, tinggi minimum balok dapat dihitung sesuai dengan tabel 3.15.

Tabel 3.14 Tinggi Minimum Balok Non-Prategang

Kondisi tumpuan	h^* minimum
Tumpuan sederhana	$l / 16$
Satu ujung menerus	$l / 18,5$
Kedua ujung menerus	$l / 21$
Kantilever	$l / 8$

Keterangan:

- * Berlaku untuk normal dan $f_y = 420$ MPa
- Untuk f_y lebih dari 420 MPa, sehingga persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

(sumber: Tabel 9.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 180)

Perhitungan tinggi balok menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{1}{13} h \text{ sampai } \frac{1}{14} h \quad (3-40)$$

3.4.2 Tulangan Longitudinal Balok

Tulangan lentur dihitung terhadap momen lentur yang diakibatkan oleh beban faktor. Perhitungan nilai momen lentur akibat dari beban terfaktor dibantu oleh *output* dari program computer.

1. Perhitungan rasio penulangan balok menggunakan persamaan berikut:

$$Rn = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-41)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3-42)$$

2. Pemeriksaan syarat rasio tulangan maksimum:

$$\rho_{\max} = 0,025 \quad (3-43)$$

3. Perhitungan luas tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-44)$$

4. Perhitungan luas tulangan minimum balok, dipilih nilai terbesar:

$$A_{smin} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \text{ atau } \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (3-45)$$

5. Nilai A_s didapatkan, dengan nilai tersebut dihitung jumlah tulangan:

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{s-tul}} \quad (3-46)$$

6. Periksa $\phi Mn > Mu$

$$a = \frac{A_{s\text{-aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (8-47)$$

$$Mn = A_{s\text{-aktual}} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (8-48)$$

Untuk nilai ϕ dapat dilihat pada tabel 3.2.

3.4.3 Tulangan Transversal Balok

SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, mengatur tentang perencanaan penampang terhadap geser yang harus memenuhi persamaan berikut:

$$\phi V_n > V_u \quad (3-49)$$

Nilai hasil V_u didapatkan dari *output software* komputer.

Keterangan:

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- V_n = kuat geser nominal
- V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

1. Melakukan perhitungan kuat geser nominal beton:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d ; \text{ dengan } \lambda = 1 \quad (3-50)$$

2. Melakukan perhitungan kuat geser nominal tulangan:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-51)$$

$$V_s < \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-52)$$

3. Melakukan perhitungan spasi antar tulangan geser:

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-52)$$

4. SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.2.2, spasi tulangan geser maksimum sesuai tabel 3.15.

Tabel 3.15 Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_s	Maksimum s , mm	
	Balok non-prategang	Balok prategang
$\leq V_c = 0,66 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	Terkecil dari:	600
		d/2 3h/4
$\geq V_c = 0,66 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	Terkecil dari:	d/4 3h/8
		300

3.5 Perencanaan Kolom

3.5.1 Estimasi Dimensi Kolom

Perhitungan dimensi kolom dihitung menggunakan beban yang terdapat pada kolom. Digunakan rumus dibawah ini untuk menentukan dimensi kolom:

1. Untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang:

$$\phi P_{nmax} = 0,85\phi \left[0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \right] \quad (3-54)$$

2. Untuk komponen struktur dengan tulangan spiral:

$$\phi P_{nmax} = 0,8\phi \left[0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \right] \quad (3-55)$$

Keterangan:

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- P_{nmax} = gaya aksial nominal penampang maksimal
- f'_c = kekuatan beton yang disyaratkan
- A_g = luas bruto penampang beton
- A_{st} = luas total tulangan longitudinal
- f_y = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

3.5.2 Kelangsingan Kolom

SNI 2847:2019 pasal 6.2.5, untuk kelangsingan kolom dapat diabaikan dengan syarat sebagai berikut:

1. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \quad (3-56)$$

2. Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 23 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-57)$$

Keterangan:

k = faktor Panjang efektif untuk komponen struktur

l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

M_1 = momen ujung terfaktor terkecil pada komponen struktur tekan

M_2 = momen ujung terfaktor terbesar pada komponen struktur tekan

3.5.3 Tulangan Transversal Kolom

Perencanaan desain penampang yang terkena geser harus berdasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-58)$$

Dengan V_u adalah gaya geser akibat beban terfaktor yang nilainya didapatkan dari *output ETABS* dan V_n merupakan kuat geser nominal.

SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1, menjelaskan kuat geser untuk komponen struktur yang terkena gaya tekan aksial, dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(\frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-59)$$

Perhitungan kuat geser kolom serta jarak antar spasi sengkang, dihitung menggunakan persamaan (3-50) hingga persamaan (3-52).

3.6 Perencanaan Fondasi

3.6.1 Daya Dukung Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tiang pancang dihitung dengan menambahkan antara daya dukung tiang pancang bagian ujung tiang dengan daya dukung bagian selimut tiang pancang.

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (3-60)$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3-61)$$

Tahanan gesek selimut tiang pancang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (3-62)$$

Tahanan gesek ujung tiang pancang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_b = A_b \cdot f_b \quad (3-63)$$

Nilai tahanan ujung tiang diambil dari nilai q_c rata-rata pada data tanah CPT, nilai tersebut dapat diambil dari $8d$ di atas dasar tiang dan $4d$ di bawah dasar tiang.

Keterangan:

- Q_u = daya dukung ultimit tanah
- Q_b = daya dukung ultimit ujung tiang
- Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang
- SF = faktor keamanan
- A_b = luas ujung bawah tiang
- A_s = luas selimut tiang
- f_b = tahanan ujung satuan tiang
- f_s = tahanan gesek satuan tiang

3.6.2 Kelompok Tiang

Kebutuhan jumlah tiang pancang pada suatu kelompok tiang harus diperhitungkan, perhitungan tersebut dapat menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{P_U}{P_{tiang}} \quad (3-64)$$

Sardjono (1988), menyatakan bahwa jarak antar sumbu tiang harus diperhitungkan memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Jarak antar tiang:

$$S \rightarrow 2,5D \leq S \leq 3,0D \quad (3-65)$$

2. Jarak tiang ke tepi:

$$S \rightarrow 2,5D \leq S \leq 3,0D \quad (3-66)$$

Keterangan:

- n = jumlah tiang
 P_U = gaya aksial ultimit
 D = diameter tiang

3.6.3 Efisiensi Kelompok Tiang

Daya dukung per tiang pancang dalam suatu kelompok tiang akan berkurang, hal tersebut dapat terjadi diakibatkan oleh adanya penyebaran tegangan disekeliling tiang. Sehingga perlu dihitung nilai efisiensi terhadap kelompok tiang tersebut untuk mengetahui nilai aktual dari daya dukung kelompok tiang tersebut.

Efisiensi kelom tiang dihitung menggunakan persamaan *Converse Labararre*:

$$n = 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(a-1) \cdot b + (b-1) \cdot a}{a \cdot b} \right) \quad (3-67)$$

3.6.4 Kontrol Reaksi Tiang dengan Momen

Beban yang diterima pada kelompok tiang harus dikontrol, dapat digunakan persamaan:

$$P_{maks} = \frac{P_U}{n} + \frac{M_{Uy}}{\sum x^2} + \frac{M_{Ux}}{\sum y^2} \leq P_{1tiang} \quad (3-68)$$

Keterangan:

P_{maks} = gaya normal maksimal yang diterima tiang

n = jumlah tiang pada satu *pile cap*

P_U = gaya normal ultimit

M_x = momen yang bekerja tegak lurus pada tiang sumbu x

M_y = momen yang bekerja tegak lurus pada tiang sumbu y

X = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang

Y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang

$\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

3.6.5 Kontrol Reaksi Tiang tanpa Momen

Beban yang diterima pada kelompok tiang harus dikontrol, dapat digunakan persamaan:

$$P_{maks} = \frac{P_U}{n} < P_{ultiang} \quad (3-69)$$

3.6.6 Kontrol Geser Satu Arah *Pile Cap*

Kontrol geser satu arah ditinjau pada satu sisi *pile cap*, sehingga perhitungan kontrol geser satu arah diperhitungkan terhadap daya dukung tiang pada satu sisi. Dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk perhitungan geser satu arah:

$$V_u < \phi V_n \quad (3-70)$$

$$V_u = m \cdot (P_{max}) \quad (3-71)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-72)$$

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-73)$$

Keterangan:

V_u = gaya geser terfaktor penampang.

V_n = kekuatan geser nominal.

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton.

P_{max} = beban maksimal 1 tiang.

B_o = keliling area kristis.

m = jumlah tiang dalam area kristis.

b = lebar pile cap.

d = tinggi efektif pile cap.

β = rasio dimensi panjang.

ϕ = faktor reduksi

3.6.7 Kontrol Geser Dua Arah *Pile Cap*

Kontrol kuat geser dua arah dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$V_{c1} = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad (3-74)$$

$$V_{c2} = 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad (3-75)$$

$$V_{c3} = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad (3-76)$$

$$q_U = \frac{P_U}{A_{pc}} \quad (3-77)$$

Kontrol geser 2 arah akibat kolom:

$$V_U < \phi V_n \quad (3-78)$$

$$V_U = q_u \cdot A_0 \quad (3-79)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-80)$$

$$\beta = \frac{b_c}{h_c} \quad (3-81)$$

Keterangan:

V_u = gaya geser terfaktor penampang.

V_n = kekuatan geser nominal.

V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton.

P_u = total beban normal.

b_o = keliling area kritis.

A = luas area kritis.

L = lebar pile cap.

d = tinggi efektif pile cap.

b = rasio dimensi panjang.

ϕ = factor reduksi.