

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Dimensi Komponen Struktur

3.1.1 Balok

Tinggi minimum balok (h) dapat direncanakan dengan nilai antara $\frac{1}{10} L$ sampai $\frac{1}{15} L$, di mana L adalah panjang bentangan balok terbesar. Lebar minimum balok (b) dapat direncanakan dengan nilai antara $\frac{1}{2} h$ sampai $\frac{2}{3} h$.

Batasan dimensi yang harus dipenuhi dalam perencanaan dimensi balok sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.6.2 yaitu antara lain:

- a. Bentang bersih (l_n) harus minimal $4d$
- b. Lebar penampang (b_w) harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- c. 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.

3.1.2 Kolom

Lebar penampang kolom dapat diperkirakan dengan jumlah antara lebar balok dan $(2 \times 5 \text{ cm})$. Batasan dimensi pada kolom sistem rangka pemikul momen khusus diatur dalam SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.2 yaitu antara lain:

- a. Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya minimal sebesar $0,4$.

3.1.3 Pelat Lantai

Tebal minimum pelat solid satu arah tidak boleh kurang atau harus melebihi nilai pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{[1]}$ minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

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

Apabila nilai $f_y > 420$ MPa, maka persamaan pada Tabel 3.1 harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$ dan apabila terbuat dari beton ringan dengan $1400 < w_c < 1840$ kg/m³, maka persamaan pada Tabel 3.1 harus dikalikan dengan nilai terbesar antara $(1,65 - 0,0003w_c)$ dan 1,09.

Tebal minimum pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2 harus memenuhi ketentuan dan tidak boleh kurang dari nilai yang diatur dalam SNI 2847 tahun 2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c) dengan keterangan lengkap seperti dalam tabel berikut:

Tabel 3. 2 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 40$	$l_n / 40$
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: Tabel 9.5(c) – SNI 2847:2013, hal. 72)

Untuk pelat dengan balok membentang di antara tumpuan pada semua sisi, tebal minimum (h) ditentukan berdasarkan SNI 2847 tahun 2013 pasal 9.5.3.3 dengan β adalah rasio bentang bersih memanjang terhadap bentang pendek pelat yaitu:

- a. Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$ harus menggunakan ketentuan pada Tabel 1
- b. Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$ tebal minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm}-0,2)} \quad (3-1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c. Untuk $\alpha_{fm} > 2,0$ tebal minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (3-2)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d. Balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f minimal 0,8 atau ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (3-1) atau (3-2) harus dinaikkan minimal 10 persen pada tepi yang tidak menerus.

3.2 Pembebanan Struktur

Perancangan pembebanan pada struktur gedung ini menggunakan peraturan dari SNI 1727:2013 untuk pembebanan struktur dan SNI 1726:2019 untuk pembebanan gempa.

3.2.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit menurut SNI 1726:2019 pasal 4.2.2 adalah sebagai berikut:

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

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

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

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

5. $0,9D + 1,0W$ (3-7)

6. $1,2D + E_v + E_h + L$ (3-8)

7. $0,9D - E_v + E_h$ (3-9)

Keterangan:

D = pengaruh beban mati

L = pengaruh beban hidup

L_r = pengaruh beban hidup di atap

R = beban air hujan

W = beban angin

E_v = pengaruh gaya seismik vertikal = $0,2S_{DS}D$

E_h = pengaruh gaya seismik horizontal = ρQ_E

3.2.2 Kuat Rencana

Menurut SNI 2847:2019 pasal 14.5.1.1, kekuatan desain setiap penampang beton harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ untuk setiap kombinasi pembebanan yang telah ditetapkan dan interaksi antara efek beban antara lain:

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

Dengan nilai faktor reduksi kekuatan sebagai berikut:

Tabel 3. 3Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

No.	Gaya atau elemen struktur	ϕ	Pengecualian
1.	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai Tabel 3.3.	Strand belum bekerja sepenuhnya, Φ harus sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 21.2.3
2.	Geser	0,75	Persyaratan tambahan struktur tahan gempa, lihat SNI 2847:2019 pasal 2.1.2.4
3.	Torsi	0,75	-
4.	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
5.	Zona angkur pascatarik	0,85	-
6.	<i>Bracket</i> dan <i>korbel</i>	0,75	-
7.	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan dengan <i>strut-and-tie</i>	0,75	-

Lanjutan Tabel 3.3 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

8.	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
9.	Beton polos	0,60	-
10.	Angkur dalam elemen beton	0,45 sampai 0,75	-

(Sumber: Tabel 21.2.1 – SNI 2847:2019, hal. 469)

Tabel 3. 4 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ Jenis Tulangan Transversal	
		Tulangan Spiral	Tulangan Lain
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	0,65
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$	Transisi	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$
$\epsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	0,90

(Sumber: Tabel 21.2.2 – SNI 2847:2019, hal. 471)

3.2.3 Perencanaan Pembebanan Gempa

Perencanaan pembebanan gempa berpacu pada SNI 1726 tahun 2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.

1. Gempa Rencana

Gempa rencana dibuat untuk mengetahui pengaruh gempa dan ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya sebesar 2% selama umur struktur bangunan adalah 50 tahun.

2. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik yang berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Profil tanah yang digunakan dalam penentuan klasifikasi situs adalah profil tanah lapisan 30

m paling atas dengan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Tipe-tipe kelas situs tanah dijabarkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N_{ch}	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 batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus)	Setiap profil tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah bersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa 		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai
(Sumber: Tabel 5 – SNI 1726:2019, hal. 29-30)

3. Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Penentuan MCE_R di permukaan tanah membutuhkan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode pendek

(F_a) dan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Besarnya koefisien F_a dan F_v ditentukan dalam tabel berikut:

Tabel 3. 6 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	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	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik					

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

Tabel 3. 7 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	MCE _R terpetakan 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
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik					

(Sumber: Tabel 7 – SNI 1726:2019, hal. 34-35)

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-10)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (3-11)$$

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

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Terdapat dua parameter percepatan spektral desain yaitu untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{DI}) yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = {}^{2/3} S_{MS} \quad (3-12)$$

$$S_{DI} = {}^{2/3} S_{MI} \quad (3-13)$$

5. Spektrum Respons Desain

Apabila prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, spektrum respons desain dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

a. Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-14)$$

b. Untuk $T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \quad (3-15)$$

c. Untuk $T_s < T \leq T_L$

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} \quad (3-16)$$

d. Untuk $T > T_L$

$$S_a = \frac{S_{DI} T_L}{T^2} \quad (3-17)$$

Keterangan:

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

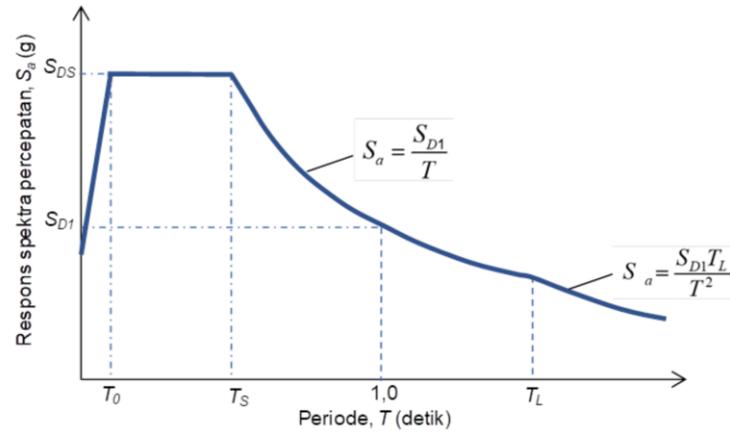
S_{DI} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

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

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

T_L = peta transisi periode panjang yang diambil dari Gambar 20 SNI 1726:2019



(Sumber: Gambar 3 – SNI 1726:2019, hal. 36)

Gambar 3. 1 Spektrum Respons Desain

6. Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori risiko struktur gedung dan non-gedung adalah pengaruh akibat gempa rencana yang kemudian harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) menurut Tabel 3.9.

Tabel 3. 8 Faktor Keutamaan Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Lanjutan Tabel 3.8 Faktor Keutamaan Gempa

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / <i>mall</i> - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia 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 - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <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>	III

Lanjutan Tabel 3.8 Faktor Keutamaan Gempa

<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedan dan unit gawat darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat 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, merasa pendingin, struktur stasiun listrik, tangki 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 nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV
---	----

(Sumber: Tabel 3 – SNI 1726:2019, hal. 25)

7. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa dipengaruhi oleh kategori risiko sebuah struktur gedung maupun non-gedung dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Faktor Keutamaan Gempa

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

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

8. Kategori Desain Seismik (KDS)

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan pada periode 1 detik, serta kategori risiko dijabarkan pada tabel berikut

Tabel 3. 10 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

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

Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

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

(Sumber: Tabel 9 – SNI 1726:2019, hal. 37)

9. Kombinasi Sistem Struktur dalam Arah yang Berbeda

Sistem yang berbeda yang digunakan harus menerapkan masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 pada setiap sistemnya. Nilai R , C_d , dan Ω_0 dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pada Tabel 12 halaman 49-52.

10. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan ditentukan dari persamaan berikut

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-18)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur (m) dari dasar sampai tingkat tertinggi
 C_t dan x = koefisien yang ditentukan dalam Tabel 3.12

Tabel 3. 12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dan 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: Tabel 18 – SNI 1726:2019, hal. 72)

Periode fundamental pendekatan maksimum ditentukan dengan persamaan berikut

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_a \quad (3-19)$$

dengan koefisien C_u ditentukan pada tabel berikut:

Tabel 3. 13 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	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)

11. Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik ditentukan dengan persamaan

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-20)$$

Nilai C_s pada persamaan (13-20) tidak perlu melebihi persamaan berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{DI}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-21)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{DI}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-22)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3-23)$$

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

$$C_s = \frac{0,5S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-24)$$

Keterangan:

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

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

R = faktor modifikasi respons pada Tabel 12 SNI 1726:2019

I_e = faktor keutamaan gempa pada Tabel 3.9

S_I = parameter percepatan spektrum respons maksimum

T = periode fundamental struktur (detik)

12. Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (3-25)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

13. Distribusi Vertikal Gaya

Gaya geser (V) harus didistribusikan ke seluruh lantai menggunakan persamaan berikut:

$$F_I = \frac{(V_b - V_s)}{R_I} \quad (3-26)$$

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (3-27)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n w_i h_i^k} \quad (3-28)$$

$$k = 14 \beta_M T_{fb} \quad (3-29)$$

Keterangan:

- F_1 = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat 1
 F_x = gaya seismik lateral yang bekerja di tingkat x ($x > 1$)
 C_{vx} = faktor distribusi vertikal
 V_s = gaya seismik lateral rencana total atau geser dari elemen-elemen di atas tingkat dasar
 w_i, w_x = bagian dari W_s yang dipasang di tingkat-i atau x
 h_i, h_x = tinggi tingkat-i atau x dari pemisah isolasi
 T_{fb} = periode utama struktur di atas pemisah isolasi, dalam detik, ditentukan menggunakan analisis ragam yang rasional dengan asumsi kondisi terjepit pada dasar

3.3 Perencanaan Atap

3.3.1 Perencanaan Gording

Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam merencanakan gording antara lain:

1. Tegangan

$$\frac{f_{bx}}{0,66f_y} + \frac{f_{by}}{0,75f_y} \leq 1,0 \quad (3-30)$$

$$f_{bx} = \frac{M_{\perp maks}}{s_x} \quad (3-31)$$

$$f_{by} = \frac{M_{// maks}}{s_y} \quad (3-32)$$

dengan,

f_{bx}, f_{by} = berturut-turut tegangan lentur arah sumbu-x dan sumbu-y

f_y = tegangan leleh baja

s_x, s_y = berturut-turut modulus elastis tampang arah sumbu-x dan sumbu-y

M_{\perp} = $\frac{1}{8} q_{\perp} L^2$ = momen tegak lurus sumbu batang

$M_{//} = \frac{1}{32} q_{//} L^2 =$ momen sejajar sumbu batang (apabila jumlah sagrod di antara gording adalah satu)

2. Lendutan

$$\delta_{\perp} = \frac{5}{384} \frac{q_{\perp} L^4}{EI_x} \leq \frac{L}{360} \quad (3-33)$$

$$\delta_{//} = \frac{5}{384} \frac{q_{//} \left(\frac{L}{a+1}\right)^4}{EI_x} \leq \frac{L}{360} \quad (3-34)$$

Besarnya batas lendutan ijin yaitu:

- Struktur biasa, $\leq \frac{1}{360} L$
- Struktur yang dapat retak apabila defleksi terlalu besar, $\leq \frac{1}{1000} L$
- Ruangan yang tidak dikehendaki terjadi getaran, $\leq \frac{1}{1500} L$

Keterangan:

δ_{\perp} = lendutan tegak lurus sumbu batang

$\delta_{//}$ = lendutan searah sumbu batang

E = modulus elastisitas baja

I_x, I_y = berturut-turut inersia arah sumbu-x dan sumbu-y

a = jumlah sagrod

L = panjang bentang

3.3.2 Perencanaan Sagrod

- Beban sagrod, $P = 0,33.F_u.A_{sagrod}$ (3-35)

- Beban yang digunakan, $P_{//} = P.\sin \alpha.S_s$ (3-36)

- Diameter baja, $D_{sagrod} = \sqrt{\frac{4P_{//}}{0,33F_u\pi}} + 3 \text{ mm}$ (3-37)

- Luas penampang sagrod, $A_{sagrod} = \frac{P_u}{0,33 F_u} = \frac{1}{4} \pi D_{sagrod}^2$ (3-38)

dengan,

P = gaya yang bekerja

$P_{//}$ = gaya sejajar sumbu batang

F_u = kuat tarik baja

s_s = jarak beban sagrod

D = diameter baja

A = luas penampang

3.3.3 Perencanaan Tierod

1. Beban tierod, $T = P \cdot \cos \alpha = 0,33 \cdot F_u \cdot A_{tierod}$ (3-39)

2. Diameter baja, $D_{tierod} = \sqrt{\frac{4T}{0,33F_u\pi}} + 3 \text{ mm}$ (3-40)

3. Luas penampang tierod, $A_{tierod} = \frac{T}{0,33 F_u} = \frac{1}{4} \pi D_{tierod}^2$ (3-41)

Keterangan:

T = tegangan yang bekerja

F_u = kuat tarik baja

D = diameter baja

A = luas penampang baja

3.3.4 Perencanaan Batang Tarik

1. Menentukan angka kelangsingan maksimum yang dapat diterima batang tarik

- a. Untuk batang utama, $\lambda = L/r \leq 240$ (3-42)

- b. Untuk batang sekunder (*bracing*), $\lambda = L/r \leq 300$ (3-43)

2. Menentukan luas gross A_g , luas netto A_n , dan luas efektif A_{ef}

- a. Batang tidak berlubang, $A_{g \text{ perlu}} = \frac{T}{0,60 f_y}$ (3-44)

$$\text{b. Batang berlubang, } A_{ef\text{perlu}} = \frac{T}{0,5 F_u} \quad (3-45)$$

$$A_{ef} = A_n \cdot \mu \quad (3-46)$$

$$A_n = \frac{T}{0,5 F_u \mu} \quad (3-47)$$

$$A_n = A_g - A_g \text{ lbaut} \quad (3-48)$$

$$A_{g\text{perlu}} = \frac{T}{0,5 F_u \mu} + A_g \text{ lbaut} \quad (3-49)$$

$$3. \text{ Kontrol kelangsingan, } \lambda_{ada} = \frac{kL}{r_{ada}} \leq 240 \quad (3-50)$$

$$4. \text{ Tegangan tarik yang terjadi, } f_a = \frac{T}{A_{g\text{ada}}} \leq 0,60 f_y \quad (3-51)$$

$$f_a = \frac{T}{A_{ef\text{ada}}} \leq 0,50 F_u \quad (3-52)$$

Keterangan:

L = panjang batang

T = gaya tarik

f_y = tegangan leleh baja

F_u = kuat tarik baja

r = jari-jari inersia terkecil profil

μ = faktor reduksi luas netto

jika jumlah baut ≥ 3 buah/baris, maka $\mu = 0,85$

jika jumlah baut = 2 buah/baris, maka $\mu = 0,75$

3.3.5 Perencanaan Batang Desak

1. Menentukan profil

a. Menghitung nilai C_c

Apabila: $\frac{kL}{r} \leq Cc = \frac{757}{\sqrt{f_y}}$ (f_y dalam Ksi) (3-53)

$$\frac{kL}{r} \leq Cc = \frac{6440}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam kg/cm}^2) \quad (3-54)$$

$$\frac{kL}{r} \leq Cc = \frac{1987}{\sqrt{f_y}} \quad (f_y \text{ dalam MPa}) \quad (3-55)$$

Maka: $F_{a \text{ perlu}} = \frac{f_y}{FS} \left(1 - 0,5 \left(\frac{kL/r}{Cc} \right)^2 \right)$ (3-56)

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{kL/r}{Cc} - \frac{1}{8} \frac{(kL/r)^3}{Cc^3} \quad (3-57)$$

Namun apabila $\frac{kL}{r} > Cc$, maka: $F_{a \text{ perlu}} = \frac{12}{23} \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r} \right)^2}$ (3-58)

b. Menghitung luas perlu, $A_{\text{perlu}} = \frac{P}{F_{a \text{ perlu}}}$ (3-59)

Profil yang digunakan adakah profil yang memiliki luas tampang $\geq A_{\text{perlu}}$.

2. Kontrol beban, $P = F_{a \text{ perlu}} \times A_{\text{perlu}} < P_{\text{terjadi}}$ (3-60)

3. Kontrol tekuk (*buckling*), $\frac{bf}{tw} \leq \frac{76}{\sqrt{f_y}}$ (Ksi) (3-61)

3.3.6 Perencanaan Sambungan

1. Menghitung kekuatan 1 baut

$$P_{\text{tumpu}} = 1,2 \times F_{U \text{ profil}} \times D_{\text{baut}} \times t_{\text{profil}} \times \text{jumlah tumpuan} \quad (3-62)$$

$$P_{\text{geser}} = 0,17 \times F_u \times A_{\text{baut}} \times \text{jumlah bidang geser}$$

$$= 0,17 \times F_u \times \frac{1}{4} \pi D_{\text{baut}}^2 \quad (3-63)$$

$$2. \text{ Menghitung jumlah baut, } n = \frac{P_{\text{terjadi}}}{P_{\text{baut}}} \quad (3-64)$$

3.4 Perencanaan Struktur

3.4.1 Perancangan Pelat

1. Menghitung dimensi pelat menurut sub bab 3.1.3

2. Menghitung penulangan arah-x dan arah-y

a. Koefisien tahanan: $R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$ (3-65)

b. Tulangan pokok, diambil nilai terbesar antara:

$$A_s = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} \quad (3-66)$$

$$A_{s \text{ ult}} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \quad (3-67)$$

dengan,

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \times d$$

3. Jarak antar tulangan, diambil nilai terkecil antara:

$$s = \frac{A_{s \text{ tulangan}} \times b}{A_{s \text{ perlu}}} \quad (3-68)$$

$$s = 2h \quad (3-69)$$

4. Kontrol momen desain: $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$ (3-70)

dengan,

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

Menurut SNI 2847:2019 pasal 14.5.1.1, syarat keamanan yaitu $\Phi M_n > M_u$.

Keterangan:

M_u = momen akibat beban terfaktor

M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang

Φ = faktor reduksi kekuatan

3.4.2 Perancangan Tangga

Langkah-langkah dalam perancangan tangga antara lain:

1. Menentukan tinggi *optrede* (O) dan panjang *antrede* (A). Pada umumnya, tinggi *optrede* antara 15-20 cm, sedangkan panjang *antrede* antara 25-30 cm. Syarat *optrede* dan *antrede* yang harus dipenuhi yaitu:

$$2O + A = 58-65 \text{ cm} \quad (3-71)$$

2. Memeriksa kemiringan tangga. Pada umumnya, kemiringan tangga (α) berkisar antara 25-40 derajat yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$\alpha = \text{arc. tan } x/y \quad (3-72)$$

dengan,

$$x = \sqrt{A^2 + O^2}$$

$$y = \sqrt{A^2 - \left(\frac{x}{2}\right)^2}$$

3. Merencanakan tebal pelat bordes dan tangga. Perencanaan tebal pelat bordes (t_b) dapat direncanakan seperti perencanaan tebal pelat pada sub bab 3.1.3. Tebal pelat pada tangga (t_t) dapat direncanakan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_t = t_b + x'/2 \quad (3-73)$$

dengan,

$$x' = A \cdot \sin \alpha$$

3.4.3 Perencanaan Balok

Tahap-tahap perencanaan balok adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi balok

Dimensi balok direncanakan sesuai dengan sub bab 3.1.1

2. Menghitung tulangan longitudinal

Langkah-langkah perhitungan kebutuhan tulangan longitudinal balok adalah sebagai berikut:

- a. Koefisien tahanan: $Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$ (3-74)

- b. Rasio tulangan tarik: $\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right)$ (3-75)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \quad (3-76)$$

$$\rho_{max} = \frac{0,429 \times 0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \quad (3-77)$$

Nilai rasio tulangan tarik yang digunakan adalah

- Jika $\rho_{min} > \rho_{perlu}$, maka nilai yang digunakan adalah ρ_{min}
 - Jika $\rho_{perlu} > \rho_{min}$, maka nilai yang digunakan adalah ρ_{perlu}
 - Jika $\rho_{perlu} > \rho_{max}$, maka nilai yang digunakan adalah ρ_{max}
- c. Faktor β_1 menurut SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3 yaitu:
 - Jika $17 \text{ MPa} \leq f_c' \leq 28 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85$
 - Jika $28 \text{ MPa} < f_c' < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
 - Jika $f_c' \geq 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,65$
 - d. Luas tulangan yang diperlukan: $A_s = \rho \cdot b \cdot d$ (3-78)

e. Jumlah tulangan yang diperlukan: $n_{\text{tulangan}} = \frac{A_s}{\text{luas satu tulangan}}$ (3-79)

f. Kondisi balok: $a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$ (3-80)

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-81)$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,03 \quad (3-82)$$

Jika $\varepsilon_s > 0,005$ maka kondisi *under reinforced*

Jika $\varepsilon_s < 0,005$ maka kondisi *over reinforced*

g. Keamanan balok: $M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$ (3-83)

Menurut SNI 2847:2019 pasal 14.5.1.1, syarat keamanan balok yaitu $\Phi M_n > M_u$.

Keterangan:

M_u = momen akibat beban terfaktor

M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang

Φ = faktor reduksi kekuatan

3. Menghitung tulangan geser

Menurut SNI 2847:2019 pasal 14.5.1.1, syarat keamanan geser balok adalah $\Phi V_n > V_u$. Tulangan geser pada balok diperlukan apabila:

$$V_u > 0,5 \Phi V_n \text{ atau } V_u > \Phi V_n \quad (3-84)$$

Apabila diperlukan tulangan geser, nilai $A_{v,min}/s$ menurut SNI 2847:2019 pasal 9.6.3.3 harus diambil nilai terbesar antara:

$$0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}} \text{ dan } 0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \quad (3-85)$$

Spasi maksimum tulangan geser pada balok diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.2.2 dengan penjabaran seperti berikut:

Tabel 3. 14 Spasi Maksimum Tulangan Geser

V_s	Maksimum s (mm)		
		Balok nonprategang	Balok prategang
$\leq 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$	Terkecil dari:	$d/2$	$3h/4$
		600	
$> 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$	Terkecil dari:	$d/4$	$3h/8$
		300	

(Sumber: Tabel 9.7.6.2.2 – SNI 2847:2019, hal. 202)

3.4.4 Perencanaan Kolom

Tahap-tahap perencanaan balok adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi kolom

Dimensi kolom direncanakan sesuai dengan sub bab 3.1.2

2. Memeriksa pengaruh kelangsingan kolom

a. Pengaruh kelangsingan kolom pada kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan jika persamaan berikut terpenuhi

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-86)$$

b. Pengaruh kelangsingan kolom pada kolom yang ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan jika persamaan berikut terpenuhi

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \text{ dan } \frac{kl_u}{r} \leq 40 \quad (3-87)$$

dengan,

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

r = radius girasi penampang komponen struktur tekan

M_1, M_2 = momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan

3. Memeriksa kuat lentur

Kekuatan lentur kolom menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 harus memenuhi persamaan berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (3-88)$$

dengan,

ΣM_{nc} = jumlah kekuatan lentur nominal kolom di joint

ΣM_{nb} = jumlah kekuatan lentur nominal balok di joint

4. Memeriksa kuat geser

Kekuatan geser satu arah nominal penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-89)$$

dimana,

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'} hd \quad (3-90)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-91)$$

Keamanan kuat geser dapat diperiksa dengan persamaan berikut:

$$\phi V_n > V_u \quad (3-92)$$

Apabila persamaan (3-57) terpenuhi maka tidak diperlukan tulangan geser dan sebaliknya apabila persamaan (3-57) tidak terpenuhi maka diperlukan tulangan geser.

Apabila tulangan geser diperlukan, luasan tulangan geser minimum $A_{v,min}$ menurut SNI 2847:2019 pasal 10.6.2.1 harus lebih besar dari:

$$0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \text{ dan } 0,35\frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \quad (3-93)$$

Tulangan geser harus disediakan di seluruh wilayah dimana $V_u > 0,5\phi V_c$.

Keterangan:

ϕ = faktor reduksi kekuatan

V_n = kuat geser nominal

V_u = gaya geser terfaktor penampang

V_s = kuat geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser

f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan

A_v = luas tulangan geser

f_{yt} = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y

b_w = lebar badan

3.4.5 Perencanaan Fondasi

Fondasi dalam yang berupa tiang, jumlah dan susunan tiang ditentukan oleh gaya dan momen terfaktor yang disalurkan ke masing-masing komponen tiang. (SNI 2847:2019 pasal 13.4.2). Perencanaan fondasi menurut Hardiyatmo (2008) adalah sebagai berikut:

3.4.5.1 Menghitung Kapasitas Tiang Berdasarkan Uji Kerucut Statis (Sondir)

Kapasitas tiang dalam tanah granular dapat dihitung sebagai berikut:

1. Tahanan ujung tiang per satuan luas: $f_b = q_c$ (3-94)

2. Tahanan ujung ultimit tiang: $Q_b = A_b \cdot q_c$ (3-95)

Atau

$$Q_b = \omega \cdot A_b \cdot q_c \quad (3-96)$$

Dengan nilai faktor ω sebagai berikut:

Tabel 3. 15 Faktor ω

Kondisi Tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar, pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0,67
Kerikil halus, pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0,5

(Sumber: Tabel 2.7 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 114)

3. Tahanan gesek per satuan luas:

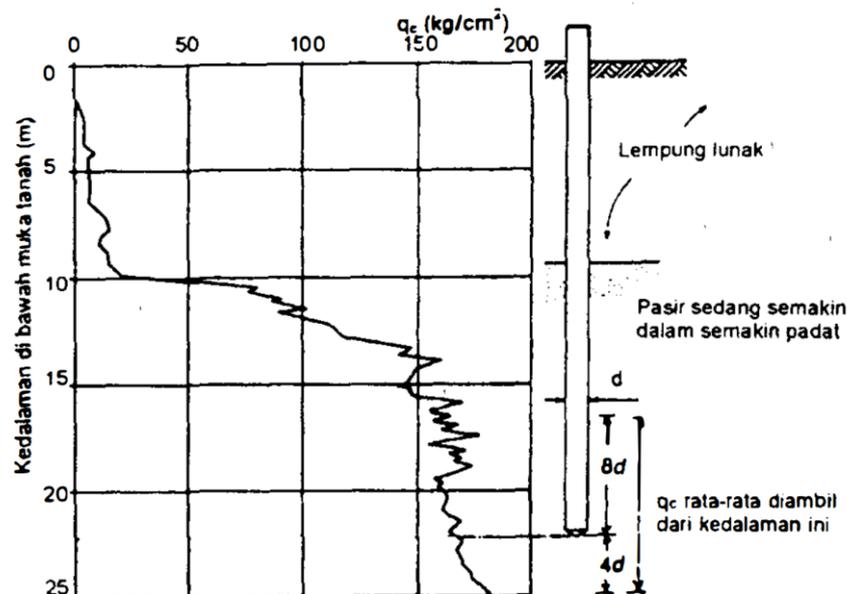
$$\text{Dinding tiang beton: } f_s = 2 \cdot q_f \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-97)$$

$$\text{Tiang baja profil: } f_s = q_f \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-98)$$

4. Tahanan gesek satuan antara dinding tiang dan tanah:

$$\text{Tiang beton dan kayu pada tanah pasir: } f_s = \frac{q_c}{200} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-99)$$

$$\text{Tiang baja profil pada tanah pasir: } f_s = \frac{q_c}{400} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3-100)$$



(Sumber: Gambar 2.23 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 115)

Gambar 3. 2 Hitungan Tahanan Ujung Tiang dari Data Sondir

$$5. \text{ Tahanan gesek dinding tiang: } Q_s = A_s f_s \quad (3-101)$$

$$6. \text{ Kapasitas ultimit tiang: } Q_u = Q_b + Q_s \quad (3-102)$$

Keterangan:

A_b = luas ujung bawah tiang

A_s = luas dinding tiang

q_c = tahanan ujung sondir rata-rata dari $8d$ di atas dasar tiang sampai $4d$ di bawah dasar tiang

f_s = tahanan gesek dinding satuan

3.4.5.2 Menghitung Kapasitas Tiang berdasarkan Uji Penetrasi Standar (SPT)

Kapasitas ultimit tiang pancang pada tanah pasir yang jenuh, dapat dihitung dengan persamaan: $Q_u = 4.N_b.A_b + 1/50 \bar{N}.A_s$ (3-103)

Untuk tiang pancang baja profil: $Q_u = 4.N_b.A_b + 1/100 \bar{N}.A_s$ (3-104)

Keterangan:

Q_u = kapasitas ultimit tiang

N_b = nilai N dari uji SPT pada tanah di sekitar dasar tiang

\bar{N} = nilai N rata-rata uji SPT di sepanjang tiang

A_s = luas selimut tiang

A_b = luas dasar tiang

3.4.5.3 Faktor Aman

Besarnya faktor aman pada fondasi tiang berbeda-beda tergantung dari jenis tiang. Nilai faktor aman berdasarkan jenis tiang dijabarkan sebagai berikut:

$$1. \text{ Tiang pancang: } Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (3-105)$$

atau

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \quad (3-106)$$

2. Tiang bor:

$$\text{Dengan pembesaran dasar tiang diameter } < 2\text{mm: } Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \quad (3-107)$$

$$\text{Tiang bor tanpa pembesaran: } Q_a = \frac{Q_u}{2} \quad (3-108)$$

3.4.5.4 Kapasitas Kelompok Tiang

Kelompok tiang yang stabil dipengaruhi oleh dua hal yaitu kemampuan tanah sekitar dan di bawah kelompok tiang yang mendukung beban struktur serta konsolidasi tanah di bawah kelompok tiang.

Kapasitas kelompok tiang berkaitan dengan keruntuhan blok karena kelompok tiang bekerja sebagai blok. Kapasitas ultimit keseluruhan blok pada tanah kohesif dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_g = 2D(B + L)c + 1,3 c_b N_c BL \quad (3-109)$$

Syarat-syarat dalam menghitung kapasitas kelompok tiang yaitu:

1. Jika $Q_g < nQ_u$, maka kapasitas yang digunakan adalah Q_g
2. Jika $Q_g > nQ_u$, maka kapasitas yang digunakan adalah nQ_u

Keterangan:

Q_g = kapasitas ultimit kelompok tiang

c = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang

B = lebar kelompok tiang yang diukur dari pinggir tiang

L = panjang kelompok tiang

D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah

N_c = faktor kapasitas dukung

Q_u = kapasitas tiang tunggal

n = jumlah tiang

Efisiensi kelompok tiang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 mn'} \quad (3-110)$$

dengan,

E_g = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n' = jumlah tiang dalam satu baris

θ = arc tg d/s (dalam derajat)

s = jarak pusat ke pusat tiang

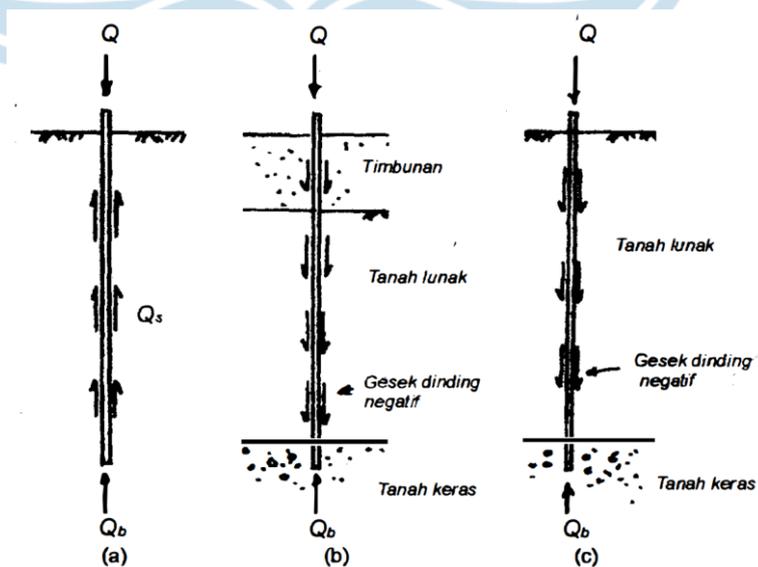
d = diameter tiang

atau didefinisikan sebagai:

$$E_g = \frac{Q_g}{nQ_u} \quad (3-111)$$

3.4.5.5 Gesek Dinding Negatif

Gesek dinding negatif muncul akibat beban Q yang diterapkan pada tiang yang menyebabkan tiang bergerak ke bawah sehingga terjadi gesekan antara dinding tiang dengan tanah yang relatif diam.



(Sumber: Gambar 2.38 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 154)

Gambar 3. 3 Tiang dipengaruhi oleh Gaya Gesek Dinding

Gaya gesek dinding negatif dari tiap-tiap tiang pada sebuah kelompok tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{neg} = \frac{1}{n} [2D(L + B)\bar{c}_u + BLH\gamma] \quad (3-112)$$

Keterangan:

Q_{neg} = gaya gesek dinding negatif masing-masing tiang

n = jumlah tiang pada sebuah kelompok tiang

D = kedalaman tiang sampai titik netral

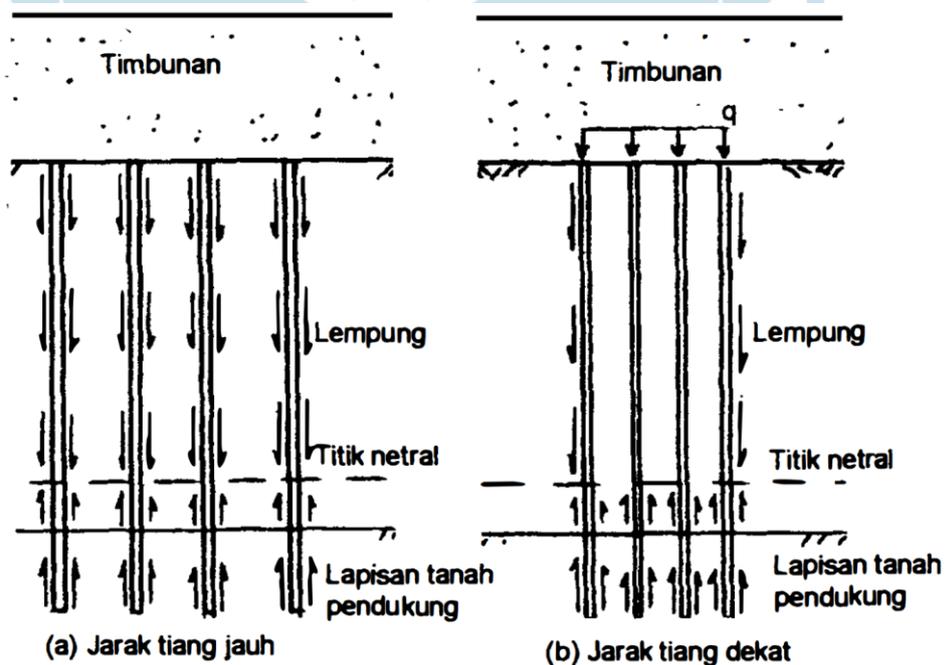
L = panjang area kelompok tiang

B = lebar area kelompok tiang

c_u = kohesi tak terdrainase rata-rata

H = tinggi timbunan

γ = berat volume tanah timbunan



(Sumber: Gambar 2.42 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 160)

Gambar 3. 4 Gesek Dinding Negatif pada Kelompok Tiang

Faktor aman yang digunakan dalam menghitung kapasitas tiang ijin adalah 2,5 sampai 3 atau dapat dihitung dengan persamaan:

$$F = \frac{Q_b}{Q_t} = \frac{Q_b}{Q + Q_{neg}} \quad (3-113)$$

dengan,

F = faktor aman dengan memperhatikan gesek dinding negatif

Q_b = tahanan ujung ultimit yang besarnya sama dengan Q_u

Q_{neg} = gaya gesek dinding negatif

3.4.5.6 Jarak Antar Tiang

Secara umum, jarak antar tiang perlu diperhatikan untuk menekan biaya pembuatan pile cap karena apabila jarak antar tiang didapati terlalu jauh, maka dimensi *pile cap* akan semakin besar. Selain itu, jarak antar tiang juga mempengaruhi tekanan tanah total pada suatu titik tertentu karena apabila jarak antar tiang terlalu dekat, maka tekanan total pada titik tertentu akan sama dengan jumlah tekanan yang diakibatkan oleh masing-masing tiang.

Tabel 3. 16 Jarak Tiang Minimum

Fungsi Tiang	Jarak as-as Tiang Minimum
Tiang dukung ujung dalam tanah keras	2d hingga 2,5d atau 75 cm
Tiang dukung pada batuan keras	2d, atau 60 cm
Tiang gesek	3d hingga 5d, atau 75 cm

(Sumber: Tabel 2.13 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 193)

3.4.5.7 Perancangan Pelat Penutup Tiang (*Pile Cap*)

Persamaan untuk menghitung reaksi total atau beban aksial masing-masing tiang apabila bekerja satu arah yaitu:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \quad (3-114)$$

Persamaan untuk menghitung reaksi total atau beban aksial masing-masing tiang apabila bekerja dua arah (arah sumbu-x dan sumbu-y) yaitu:

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2} \quad (3-115)$$

dengan,

- Q_i = beban aksial ke-i
 V = jumlah gaya-gaya vertikal
 M_x = $e_y V$ = jumlah momen terhadap sumbu-x
 M_y = $e_x V$ = jumlah momen terhadap sumbu-y
 e_x, e_y = berturut-turut eksentrisitas searah sumbu-x dan sumbu-y
 n = jumlah tiang dalam kelompok tiang
 x_i, y_i = berturut-turut jarak tiang terhadap sumbu y dan sumbu-x dari pusat berat kelompok tiang
 $\sum x^2, \sum y^2$ = jumlah kuadrat dari jarak tiap tiang ke pusat kelompok tiang

Jarak tiang terluar dengan pinggir pelat beton minimum kira-kira 10 cm sampai dengan 15 cm.

3.4.5.8 Tiang Menahan Gaya Tarik ke Atas

Persamaan untuk tiang tunggal pada tanah lempung, tahanan tarik ultimit dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{tr} = c_d A_s + W_p \quad (3-116)$$

dengan,

- W_p = panjang kelompok tiang
 A_s = luas selimut tiang
 c_d = adhesi tanah rata-rata di sepanjang tiang

3.4.5.9 Tiang Mendukung Beban Lateral dengan Metode Broms

Perhitungan beban lateral yang didukung tiang dibedakan menjadi beberapa kondisi antara lain:

1. Tiang ujung bebas dalam tanah granuler

a. Distribusi tekanan tanah

$$p_u = 3p_o K_p \quad (3-117)$$

b. Beban lateral ultimit

$$H_u = \frac{(1/2)\gamma d L^3 K_p}{e + L} \quad (3-118)$$

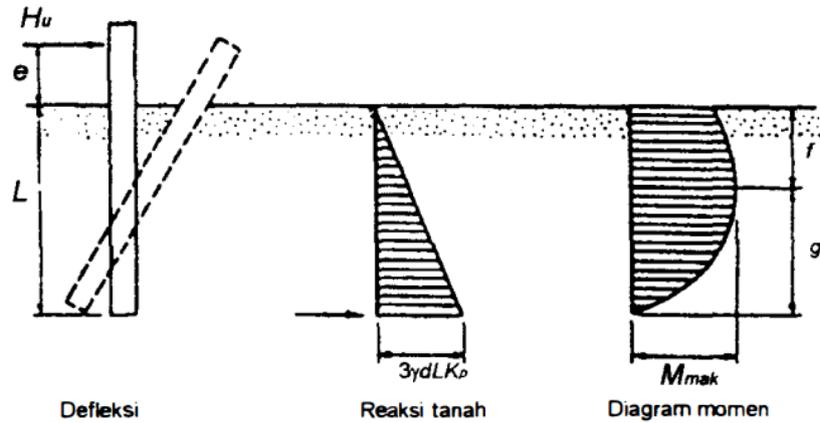
c. Momen maksimum pada jarak f di bawah permukaan tanah

$$H_u = (3/2)\gamma d K_p f^2$$

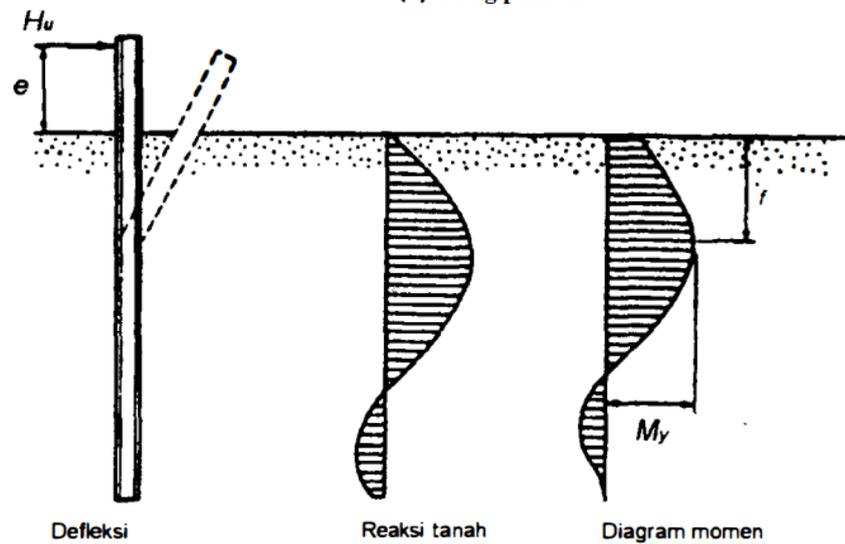
$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d K_p \gamma}}$$

$$M_{maks} = H_u (e + 2f/3)$$

Apabila diperoleh $M_{maks} > M_y$, maka tiang akan berkelakuan seperti tiang panjang.



(a) Tiang pendek



(b) Tiang panjang

(Sumber: Gambar 2.76 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 222)

Gambar 3. 5 Mekanisme Keruntuhan Tiang Ujung Bebas pada Tanah Granuler

2. Tiang ujung jepit dalam tanah granuler

a. Beban lateral ultimit

$$H_u = (3/2)\gamma dL^2 K_p \quad (3-119)$$

b. Momen negatif yang terjadi pada kepala tiang

$$M_{maks} = (2/3)H_u L = \gamma dL^3 K_p \quad (3-120)$$

Apabila diperoleh $M_{maks} > M_y$, maka tiang akan berkelakuan seperti tiang sedang.

- c. Keseimbangan horizontal untuk tiang berkelakuan seperti tiang sedang

$$F = (3/2)\gamma dL^2 K_p - H_u \quad (3-121)$$

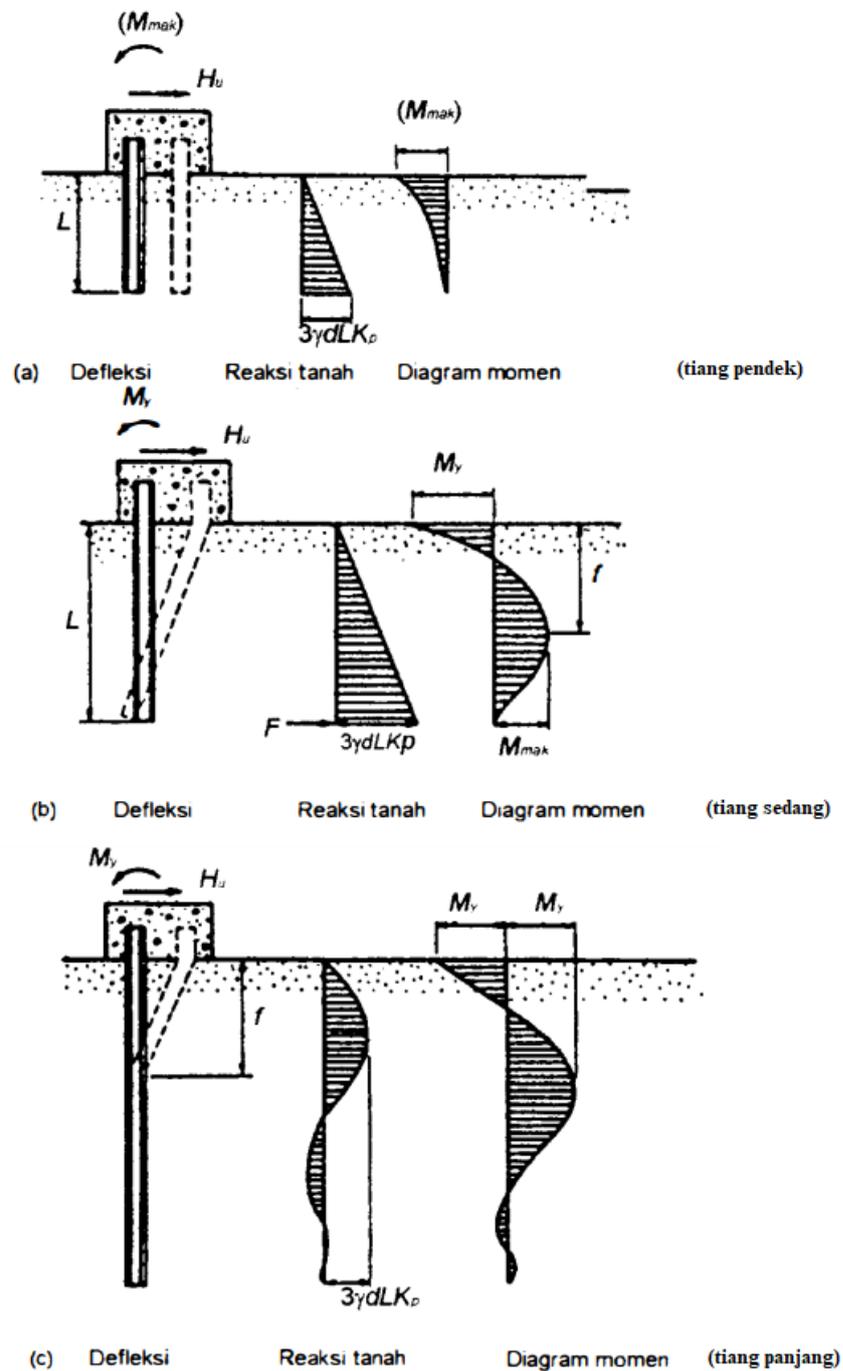
- d. Momen terhadap kepala tiang (untuk $M_{maks} > M_y$)

$$M_y = \left(\frac{1}{2}\right)\gamma dL^3 K_p - H_u L \quad (3-122)$$

- e. Beban pada tiang berkelakuan seperti tiang panjang

$$H_u = \frac{2M_y}{e + 2f/3} \quad (3-123)$$

dengan nilai f diperoleh dari persamaan (3-xx).



(Sumber: Gambar 2.78 – Teknik Fondasi II (Hardiyatmo, 2008), hal. 225)

Gambar 3. 6 Mekanisme Keruntuhan Tiang Ujung Jepit pada Tanah Granuler

3.4.5.10 Defleksi Tiang Vertikal

Persamaan sederhana yang digunakan untuk mengontrol defleksi tiang akibat beban lateral pada dua kondisi yaitu:

1. Defleksi lateral di kepala tiang ujung bebas

$$y = \frac{H(e + z_f)^3}{3E_p I_p} \quad (3-124)$$

2. Defleksi lateral ujung tiang dengan ujung jepit:

$$y = \frac{H(e + z_f)^3}{12E_p I_p} \quad (3-125)$$

dengan,

H = beban lateral

E_p = modulus elastisitas tiang

I_p = momen inersia penampang tiang

e = jarak beban terhadap muka tanah

z_f = jarak titik jepit dari muka tanah

3.5 Ketidakteraturan Bangunan

Ketidakteraturan bangunan menurut SNI 1726:2019 pasal 7.3.2 diklasifikasikan menjadi dua yang didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari sebuah struktur. Berdasarkan Tabel 13 SNI 1726:2019, ketidakteraturan horizontal pada struktur dibedakan menjadi 5 tipe yaitu:

1. a. Ketidakteraturan torsi
b. Ketidakteraturan torsi berlebihan
2. Ketidakteraturan sudut dalam
3. Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma
4. Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang
5. Ketidakteraturan sistem non paralel

Sedangkan ketidakberaturan vertikal menurut Tabel 14 SNI 1726:2019 dibedakan menjadi 5 tipe yaitu:

1. a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak
b. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan
2. Ketidakberaturan berat (massa)
3. Ketidakberaturan geometri vertikal
4. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral
5. a. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat
b. Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat

3.6 Dilatasi

Dilatasi adalah pemisahan struktur akibat memiliki struktur yang berbeda, ketidakberaturan bentuk struktur bangunan, dan denah bangunan yang tidak simetris. Pada umumnya, dilatasi diperlukan guna mereduksi kemungkinan terjadinya benturan pada struktur yang berdampingan (Baehaki, Soelarso, Atika Permatasari, 2018).

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.12.3 pemisahan struktur harus mampu menopang perpindahan respons inelastik maksimum (δ_M) dengan menggunakan persamaan

$$\delta_M = \frac{C_d \cdot \delta_{max}}{I_e} \quad (3-126)$$

dengan δ_{max} adalah perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.