

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan Struktur

Beban struktur adalah beban yang bekerja pada struktur selama struktur tersebut dibangun maupun dioperasikan. Beban yang bekerja dalam struktur ini meliputi beban mati (D), beban hidup (L), dan beban gempa (E).

3.1.1 Beban Mati (D)

Menurut SNI 1726:2013 pasal 3.1 beban mati (D) didefinisikan sebagai berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta beban layan. Beban mati yang digunakan untuk struktur gedung ini seperti di table yang di bawah.

Tabel 3.1 Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No.	Bahan Bangunan	Berat
1	Beton	2200 Kg/m ³
2	Beton Bertulang	2400 Kg/m ³
3	Pasir (kering udara)	1600 Kg/m ²
4	Spesi dari semen, per cm tebal	21 Kg/m ²
5	Dinding bata merah ½ bata	250 Kg/m ²
6	Penutup lantai ubin per cm tebal	24 Kg/m ²

(Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung,1983)

3.1.2 Beban Hidup (L)

Beban hidup (L) adalah beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. Beban hidup yang dimaksud adalah beban manusia, peralatan yang dapat dipindahkan, kendaraan bermotor, serta barang/benda lain yang letaknya tidak permanen. Berikut adalah beban hidup yang berdasarkan fungsi suatu bangunan sesuai SNI 1727:2013.

Tabel 3.2 Beban Hidup pada Lantai Gedung

No.	Hunian atau Penggunaan	Berat (kN/m ²)
1	Lobi	4,79
2	Balkon dan dek	4,79
3	Koridor	4,79
4	Ruang makan dan restoran	4,79
5	Tangga permanen	4,79
6	Atap digunakan untuk taman atap	4,79
7	Atap datar biasa	0,96
8	Hunian	1,92

(Sumber, Tabel 4-1, SNI 1727:2013)

3.1.3 Beban Gempa

Untuk perancangan struktur gedung tahan gempa mengacu pada SNI 1726:2012. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Ss dan S1

Nilai Ss dan S1 ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

b. Klasifikasi Situs

Berdasarkan pasal 5.1 SNI 1726:2012 memberi penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau 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 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 sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifikasi situs yang mengikuti 6.10.1)	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 organic 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		

(sumber SNI 1727:2012, pasal 5.3)

c. Menentukan Kelas Situs dan Mementukan F_a dan F_v

Tabel 3.4 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linear
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik espesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Catatan :

- Untuk nilai-nilai anantara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik.

d. Koefisien-koefisien Situs dan Parameter-parameter Respons Spectra Percepatan Gempa, Maksimum yang Dipertimbangkan (MCE_R)

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu factor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran satu perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{Ms}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{Ms} = F_a \cdot S_s \quad (3-1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3-2)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons espektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan unruk periode 1.0 detik.

e. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{Ds} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , ditentukan rumus sebagai berikut:

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} S_{Ms} \quad (3-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-4)$$

f. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifikasi situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons seperti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk perioda lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain, S_a diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-5)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} \quad (3-6)$$

Keterangan :

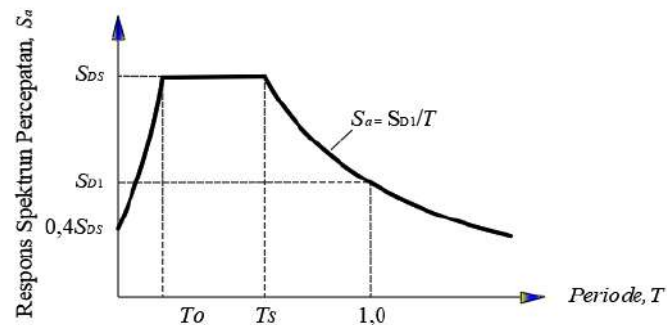
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{DI} = parameter respons spektral percepatan desain paada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

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

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



Gambar 3.1 Spektrum respons desain

g. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.1.2 tabel 1, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non Gedung sesuai Tabel 3.5, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.6.

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non Gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur dan pabrik 	II

(lanjutan) 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 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 - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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 - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung 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
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjuk 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 - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, 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, tangka penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik dll 	IV

Tabel 3.7 – Faktor Keutamaan Gempa

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

h. Kategori Desain Seismik (KDS)

Semua struktur bangunan harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} , sesuai tabel 3.7 dan 3.8.

Tabel 3.8 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 6, SNI 1726:2012)

Tabel 3.9 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 7, SNI 1726:2012)

i. Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai den

gan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diijinkan.

Tabel 3.10 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Lateral

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R	C_d	Ω_0	Batasan system struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen									
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5.	Rangka beton bertulang pemikul nomen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6.	Rangka beton bertulang pemikul nomen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7.	Rangka beton bertulang pemikul nomen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10.	Rangka baja dan beton komposit tertekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12.	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3	3½	10	10	10	10	10

(Sumber Tabel 9, SNI 1726:2012)

Catatan :

TB :Tidak Dibatasi
 TI :Tidak Diijinkan

j. Faktor Redudansi, ρ untuk Kategori Risiko Desain Seismik D, E dan F

Untuk struktur yang untuk kategori desain seismik D, E atau F, ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0.

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah ditinjau harus sesuai dengan tabel 3.11
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 3.11 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
Rangka pemikul Momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 %, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan.
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besardari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 %, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan.

(Sumber : Tabel 12 – SNI 1726:2012)

k. Periode Fundamental (T)

Periode fundamental, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_t) dari tabel 3.11.

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-7)$$

Keterangan :

h_n : ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t : koefisien untuk batasan atas pada periode

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 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(dikutip dari Tabel 15 SNI 1726:2012, halaman 56)

Tabel 3.13 Koefisien untuk batas atas pasa perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\leq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(dikutip dari Tabel 14 SNI 1726:2012, halaman 56)

1. Faktor Respons Gempa

Faktor respons gempa dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-10)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = faktor modifikasi respons, dilihat dalam Tabel 9 SNI 1726:2012

I_e = faktor keutamaan gempa, dilihat dalam Tabel 2 SNI 1726:2012

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan (3-10) tidak perlu melebihi dari persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-8)$$

Dengan syarat C_s :

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e$$

$$C_s \text{ min} = 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama

dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_{s \min} = \frac{0,5 \cdot S_{D1}}{\frac{R}{I_e}} \quad (\text{hanya untuk } S_I \geq 0,6g) \quad (3-9)$$

Keterangan :

S_{D1} = parameter percepatan spectrum respons desain pada perioda sebesar 1,0 detik

T = Perioda fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spectrum respons maksimum yang ditetapkan. Digunakan C_s terkecil.

m. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s W \quad (3-10)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismic efektif

n. Distribusi beban lateral pada setiap lantai

Ditentukan oleh rumus :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-11)$$

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{W_x h_x^k}{W_i h_i^k} \quad (3-12)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-13)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (W) (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 atau x , (m)

- k = eksponen yang terkait dengan periode struktur:
 untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, k=1
 untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau kurang, k=2
 untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.2 Kuat Perlu

Kombinasi beban yang digunakan dalam tata cara perencanaan gempa pasal

4.2.2 dan pasal 7.4.2 SNI 1726:2012 sebagai berikut :

$$1. U = 1,4D \quad (3-14)$$

$$2. U = 1,2D + 1,6L \quad (3-15)$$

$$3. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-16)$$

$$4. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-17)$$

$$5. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-18)$$

$$6. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-19)$$

$$7. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-20)$$

$$8. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-21)$$

$$9. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-22)$$

$$10. U = (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-23)$$

$$11. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-24)$$

$$12. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-25)$$

$$13. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-26)$$

$$14. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-27)$$

$$15. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-28)$$

$$16. U = (0,9 + 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3-29)$$

$$17. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex + \rho Ey \quad (3-30)$$

$$18. U = (0,9 + 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho Ex - \rho Ey \quad (3-31)$$

Keterangan :

U = kuat perlu

D = beban mati (*dead load*)

L = beban hidup (*live load*)

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

ρ = faktor redundansi

Ex = beban gempa arah X

Ey = beban gempa arah Y

3.3 Kuat Desain

Sesuai dengan SNI 2847:2013, pasal 9.3 kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi standar, yang dikalikan faktor reduksi kekuatan ϕ . Nilai ϕ yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Faktor Reduksi Kekuatan

No.	Keterangan	ϕ
1.	Penampang terkendali tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75

(lanjutan) Tabel 3.14 Faktor Reduksi Kekuatan

No.	Keterangan	ϕ
7.	Penampang lentur komponen struktur pra tarik	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 sampai 0,9

3.4 Perencanaan Elemen Struktur

Struktur yang akan dirancang meliputi pelat lantai, balok, kolom, tangga dinding geser dan fondasi.

3.4.1 Perencanaan Pelat

Pada umumnya struktur pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya timbul dalam satu arah. Sedangkan pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada empat tepinya, sehingga lenturan yang timbul terbagi dua arah. Berikut adalah perbedaan pelat satu arah dan dua arah:

1. Pelat satu arah:
 - a. Pelat dianggap lebar 1 meter dan dapat dihitung sebagai balok dengan lebar 1 meter.
 - b. Tulangan utama pelat dipasang menerus sampai kedua tumpuan.
 - c. Tulangan susut dan sushu dipasang tegak lurus tulangan utama.
2. Pelat dua arah:
 - a. Arah sisi pendek diberi notasi ℓ_x dan arah panjang diberi notasi ℓ_y .

- b. Tulangan utama dipasang pada arah l_x maupun l_y , masing-masing menerus sampai ke tumpuan.
- c. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja.

3.4.1.1 Perencanaan pelat satu arah

1. Tebal minimum pelat

Tebal pelat satu arah ditentukan sesuai dengan SNI 2874:2013, pada pasal 9.5.2 seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.15 Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

(dikutip dari tabel 9.5 a SNI 2847:2013)

Catatan :

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut

- a. Untuk struktur beton ringan
- b. Untuk mutu baja f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 samai 1840 kg/m³ nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.

2. Tulangan susut dan suhu

Struktur pelat satu arah, harus disediakan tulangan susut dan suhu yang memiliki arah tegak lurus terhadap tulangan utama. Berdasarkan pasal 7.12.2.1 SNI 2847.13 dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.16, namun tidak kurang dari 0,0014.

Tabel 3.16 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat

No.	Keterangan	Rasio tulangan
1.	Pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan mutu f_y = 280 atau 250 MPa	0,0020
2.	Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 MPa	0,0018
3.	Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 %	$0,0018 \times 420/f_y$

3.4.1.2 Pelat dua arah

1. Tebal minimum pelat dua arah

Untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimum pelat harus memenuhi ketentuan Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

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	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 34$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan berikut:

- a. Untuk nilai $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2,0$, maka tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-32)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- b. Untuk nilai $\alpha_{fm} > 2$, tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-33)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

keterangan :

- α = Rasio kekuatan lentur penampang terhadap kekuatan lentur pelat
- α_{fm} = Rata-rata nilai α untuk semua balok pada tepi panel
- β = Rasio dimensi panjang terhadap pendek
- ℓ_n = Panjang bentang bersih (mm).

α_f = Rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb} I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_{cs} I_s$).

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (3-34)$$

I_b = Momen inersia bruto penampang balok

I_s = Momen inersia bruto dari penampang pelat.

2. Metode Desain

Untuk menghitung momen terfaktor untuk pelat yang dijepit pada keempat sisinya ditentukan dalam Tabel 3.18

Tabel 3.18 Momen Terfaktor pada Pelat Dua Arah

Momen		l_y / l_x						
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5
M_{lx}	$0,001 W_u l_x^2$	21	28	34	37	40	41	42
M_{ly}	$0,001 W_u l_x^2$	21	20	18	16	13	12	10
M_{tx}	$0,001 W_u l_x^2$	52	64	73	79	82	83	83
M_{ty}	$0,001 W_u l_x^2$	52	56	57	57	57	57	57

(sumber : dari tabel 13.3.1 PBI 71)

3. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu :

a. Tulangan utama, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (h = tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

b. Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (h = tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

3.4.2 Perencanaan Balok

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan balok sebagai berikut:

1. Menghitung dimensi balok

Sesuai SNI 2487:2013 tabel 9.5 (a), syarat tebal minimum balok ditentukan oleh tabel 4.1.

Tabel 3.19 Tebal Minimum Balok

Komponen Struktur	Tebal Minimum (h)			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	Kantilever
Balok	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$

Catatan:

- a. Panjang bentang (ℓ) dalam mm.
 - b. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan f_y 420 Mpa.
 - c. Untuk $f_y \neq 420$ Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$
2. Menentukan f'_c dan f_y
 3. Menghitung tulangan longitudinal balok

Perencanaan tulangan lentur balok nilai momen terfaktir (M_u) diperoleh dari hasil perhitungan analisis struktur dengan bantuan program. Berikut perhitungan tulangan lentur:

Menghitung momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3-35)$$

Menghitung koefisien tahanan

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-36)$$

Luas tulangan lentur yang dibutuhkan pada komponen struktur adalah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-37)$$

Nilai rasio penulangan (ρ) diambil lebih kecil dari ρ_{maks} dan lebih besar dari ρ_{min} :

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-38)$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \quad ; \text{ atau} \quad (3-39)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-40)$$

$$\rho_{maks} = 0,429 \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \quad (3-41)$$

Cek rasio tulangan lentur :

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$$

Rasio tulangan diperoleh kurang dari rasio tulangan yang dibutuhkan maka gunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}), dan jika lebih dari rasio penulangan maksimum (ρ_{maks}), balok dihitung sebagai tulangan rangkap.

Luas tulangan (A_s) yang diperoleh, digunakan untuk menghitung jumlah tulangan dengan pembulatan ke atas. Jumlah tulangan dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Jumlah tulangan;} \quad n = \frac{A_s}{\text{luas satu buah tulanga}} \quad (3-42)$$

Syarat keamanan tulangan lentur adalah, $\phi M_n \geq M_u$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f_c b_w} \right) \quad (3-43)$$

4. Perhitungan tulangan geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan berikut:

$$\phi V_n > V_u ; \quad (3-44)$$

dan kekuatan geser nominal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V_n = (V_c + V_s) \quad (3-45)$$

keterangan :

- ϕ = faktor rediksi kekuatan
- V_n = kekuatan geser nominal
- V_u = gaya geser terfaktor
- V_c = kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh beton
- V_s = kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh tulangan geser

Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1 dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-46)$$

Pemasangan tulangan geser diperlukan jika:

$$\frac{V_u}{\phi} \geq V_c \quad (3-47)$$

Jika pemasangan tulangan geser diperlukan, kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-48)$$

Dan tidak boleh lebih besar dari, $0,66 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$

Batasan spasi maksimum tulangan geser menurut SNI 2847:2013, pasal 11.4.5 adalah:

1. Spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur non prategang dan $0,75 h$ pada komponen struktur prategang, ataupun 600 mm.
2. Senggang miring dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan harus dipasang dengan spasi sedemikian hingga setiap garis 45 derajat, menerus ke arah reaksi dari tengah tinggi komponen struktur $d/2$ ke tulangan tarik longitudinal, harus disilang oleh paling sedikit satu gasir tulangan geser.
3. Bila V_s melebihi $0,33 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$ maka spasi maksimum yang diberikan dalam poin 1 dan 2 harus dikurangi setengahnya.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $d/4$
- b. Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm

3.4.3 Perencanaan Kolom

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan kolom

1. Estimasi deimensi

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja di atas kolom tersebut. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat berdasarkan SNI 2847;2013 pasal 10.3.6.3 harus memenuhi persamaan berikut.

$$\phi P_{n(max)} = 0,8 \phi \left[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (3-49)$$

dengan nilai faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,65$

2. Batasan penampang

Syarat tulangan longitudinal untuk komponen struktur tekan non-komposit berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.9.1 harus memenuhi persamaan berikut:

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,08A_g \quad (3-50)$$

3. Mengecek pengaruh kelangsingan kolom

Berdasarkan pasal 10.10.1 SNI 2847:2013, untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (*braced*) terhadap goyangan, pengaruh kelangsingan diabaikan jika:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-51)$$

Keterangan:

k = faktor Panjang efektif komponen struktur tekan

r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

l_u = panjang bersih komponen struktur tekan

4. Kuat lentur

Kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Momen minimal harus 20% lebih besar dibanding momen balok di suatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen struktur rangka pemikul momen khusus. Pasal 21.6.2.2 SNI 2847:2013, terdapat persamaan :

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-52)$$

Keterangan :

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

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok T, dimana slab dalam kondisi akibat momen-momen di joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang didefinisikan dalam pasal 8.2 SNI 2847:2013 harus diasumsikan menyumbangkan kepada M_{nb} jika slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

5. Tulangan Geser Rencana

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.1 SNI 2847:2013 tentang perencanaan penampang yang dikenakan geser harus memenuhi persamaan berikut:

$$\phi V_n \geq V_u ; \quad (3-53)$$

$$\text{dan } V_n = V_c + V_s \quad (3-54)$$

Keterangan :

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- V_n = kekuatan geser nominal
- V_u = gaya geser terfaktor
- V_c = kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh beton
- V_s = kekuatan geser nominal yang diakibatkan oleh tulangan geser

Menurut pasal 11.2.1.2 SNI 2847:2013, kuat geser beton yang disebabkan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial ditentukan dalam persamaan berikut:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w d \quad (3-55)$$

$$\text{;dan } V_s = \left(\frac{A_v f_y d}{s}\right) \quad (3-56)$$

Keterangan:

- A_v = luas tulangan geser
- V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
- A_g = luas bruto penampang kolom
- N_u = beban aksial terfaktor yang terjadi
- B_w = lebar balok
- f_y = kuat tarik baja tulangan (MPa)
- f'_c = kuat tekan beton (MPa)

6. Tulangan Transversal Kolom

Pada kedua ujung kolom perlu cukup pengekangan untuk menjamin daktilitas apabila terjadi sendi pasltis. Diperlukan tulangan transversal untuk mencegah kegagalan geser sebelum penampang mencapai kapasitas lentur dan kedua tulangan menekuk. Berdasarkan pasal 21.6.4.4 SNI 2847:2013, luas tulangan total tulangan Sengakang persegi ditentukan dalam persamaan berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{S_b f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-57)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{S_b f'_c}{f_{yt}} \quad (3-58)$$

Keterangan:

A_{sh} = luas tulangan transversal

A_g = luas penampang bruto kolom

A_{ch} = luas beton inti yang diukur dari sisi-sisi luar tulangan transversal

b_c = dimensi penampang kiri kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekan

s = spasi tulangan transversal

f_{yt} = kuat tarik tulangan transversal

f'_c = kuat tekan beton

Sesuai pasal 21.6.4.3 SNI2847:2013, spasi tulangan transversal sepanjang panjang ℓ_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- 1/4 dimensi komponen struktur minimum;
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- $S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$, dengan nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

3.4.4 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga dilakukan dengan tentukan lebar tangga (*antrede*), tinggi anak tangga (*optrede*), lebar bordes dan sudut kemiringan tangga. Beban hidup tangga ditentukan sesuai fungsi tangga dan untuk kombinasi beban menggunakan $1,2 D + 1,6 L$. Untuk perencanaan tulangan dihitung dengan persamaan berikut:

1. Koefisien tahanan

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b \cdot d^2} \quad (3-59)$$

2. Luas tulangan yang dibutuhkan pada komponen struktur lentur adalah sebagai berikut:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-56)$$

3. Rasio tulangan ρ perlu diambil antara ρ_{min} dan ρ_{max} .

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-60)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} ; \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-61)$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,429 \frac{0,85 f'_c \beta_1}{f_y} \quad (3-62)$$

4. Jumlah tulangan;

$$n = \frac{A_s}{\text{luas satu buah tulanga}} \quad (3-63)$$

5. Syarat keamanan tulangan lentur adalah, $\phi M_n \geq M_u$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f_c b_w} \right) \quad (3-64)$$

3.4.5 Perencanaan Dinding Geser

Perencanaan dinding geser berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.9 telah ditentukan dengan persamaan berikut:

1. Desain penampang horizontal untuk bidang dinding harus sesuai dengan persamaan :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-65)$$

keterangan:

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

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \quad (3-66)$$

A_{cv} = Luas penampang bruto beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau.

α_c = koefisien kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kuatgeser dinding.

ρ_t = rasio minimum tulangan horizontal terhadap luas bruto penampang beton.

2. Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $l_w/5$
- b. $3h$
- c. 450 mm, dimana l_w adalah panjang keseluruhan dinding.

3.4.6 Perencanaan Fondasi *Bored Pile*

Langkah-langkah perencanaan fondasi *Bored Pile* adalah:

1. Daya dukung fondasi *Bored Pile*

Daya dukung fondasi *bored pile* adalah penjumlahan dari tahanan ujung bawah dan tahanan selimut yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3-67)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot P \quad (3-68)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (3-69)$$

Keterangan:

- Q_u = daya dukung terfaktor fondasi (KN)
- Q_p = daya dukung fondasi yang diberikan oleh point bearing (KN)
- Q_s = daya dukung fondasi oleh friksi pada selimut (KN)
- f = gaya gesek yang terjadi pada tiang (KN/m²)
- L = panjang tiang (m)
- A_b = luas alas tiang (m²)

2. Menghitung jumlah tiang dalam kelompok tiang

Jumlah tiang (n) dihitung dengan persamaan berikut :

$$n = \frac{N}{P_{\text{tiang}}} \quad (3-70)$$

Jarak antar tiang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$2,5D < S \leq 3D \quad (3-71)$$

Jarak antara sumbu tiang ke tepi *pile cap* ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = 1,0 D$$

Keterangan:

- P = beban yang diterima tiang (KN)
 N = beban normal atau beban yang diterima oleh fondasi (KN)
 S = jarak sumbu tiang ke tepi atau ke tiang yang lain (m)
 D = diameter tiang (m)

3. Menghitung efisiensi kolom

Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang, dapat dihitung dengan rumus

Converse Labore:

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right) \quad (3-72)$$

Keterangan:

- η = efisiensi kelompok tiang
 m = jumlah deret tiang
 n = jumlah tiang setiap deret
 θ = arc tan (d/s)
 S = jarak antar tiang
 d = diameter tiang (m)

4 Menghitung kontrol reaksi tiang

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \quad (3-73)$$

Keterangan:

- P_{max} = beban maksimum yang diterima oleh tiang (KN)
 $\sum V$ = jumlah total beban normal (KN)
 N = jumlah tiang dalam satu pilecap
 M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terhadap dalam *pilecap* (KN-m)
 M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada fondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam *pilecap* (KN-m)

5 Mengecek geser dua arah *pile cap*

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-74)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-75)$$

nilai kuat geser beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b_o d \quad (3-76)$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b_o d \quad (3-77)$$

$$V_c = \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2\right) \frac{1}{12} \sqrt{f_c} b_o d \quad (3-78)$$

