

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Pembebanan Struktur

Kombinasi pembebanan yang diperhitungkan dalam perancangan gedung ini adalah kombinasi dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa sesuai dengan kombinasi pembebanan pada SNI 1726:2019.

#### 3.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan menurut SNI 1726:2019 sebagai berikut:

1.  $1,4D$  (3-1)
2.  $1,2D + 1,6LL + 0,5Lr$  (3-2)
3.  $1,2D + 1,6LL + 0,5R$  (3-3)
4.  $1,2D + 1,6Lr + 1LL$  (3-4)
5.  $1,2D + 1,6Lr + 0,5W$  (3-5)
6.  $1,2D + 1,6R + 1LL$  (3-6)
7.  $1,2D + 1,6RL + 0,5W$  (3-7)
8.  $1,2D + 1W + 1LL + 0,5Lr$  (3-8)
9.  $1,2D + 1W + 1LL + 0,5R$  (3-9)
10.  $1,358D + 1,3Ex + 0,39Ey + 1LL$  (3-10)
11.  $1,358D + 1,3Ex - 0,39Ey + 1LL$  (3-11)
12.  $1,358D - 1,3Ex + 0,39Ey + 1LL$  (3-12)
13.  $1,358D - 1,3Ex - 0,39Ey + 1LL$  (3-13)

14.  $1,358D + 0,39Ex + 1,3Ey + 1LL$  (3-14)
15.  $1,358D + 0,39Ex - 1,3Ey + 1LL$  (3-15)
16.  $1,358D - 0,39Ex + 1,3Ey + 1LL$  (3-16)
17.  $1,358D - 0,39Ex - 1,3Ey + 1LL$  (3-17)
18.  $0,9DL + 1W$  (3-18)
19.  $0,742D + 1,3Ex + 0,39Ey$  (3-19)
20.  $0,742D + 1,3Ex - 0,39Ey$  (3-20)
21.  $0,742D - 1,3Ex + 0,39Ey$  (3-21)
22.  $0,742D - 1,3Ex - 0,39Ey$  (3-22)
23.  $0,742D + 0,39Ex + 1,3Ey$  (3-23)
24.  $0,742D + 0,39Ex + 1,3Ey$  (3-24)
25.  $0,742D - 0,39Ex - 1,3Ey$  (3-25)
26.  $0,742D - 0,39Ex - 1,3Ey$  (3-26)

Keterangan

- $D$  = beban mati (*dead load*)
- $L$  = beban hidup (*live load*)
- $Lr$  = beban atap (*live roof*)
- $W$  = angin
- $Ex$  = beban gempa arah horizontal
- $Ey$  = beban gempa arah vertikal

Pengecualian:

Faktor beban untuk  $L$  pada kombinasi 3 sampai dengan 10 boleh diambil sama

dengan 0,5 kecuali untuk garasi, ruang pertemuan, dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.3 Kuat Rencana

Faktor reduksi kekuatan sesuai SNI 2847-2019 pasal 21 sebagai berikut:

1. Menurut SNI 2847-2019 pasal 21.2.1, Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan yang digunakan dalam perancangan harus sesuai dengan tabel 3.1, kecuali yang termodifikasi pada poin (2), (3), dan (4).

**Tabel 3.1 Faktor reduksi kekuatan  $\phi$**

No.	Keterangan	$\phi$
1.	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90
2.	Geser	0,75
3.	Torsi	0,75
4.	Tumpu ( <i>bearing</i> )	0,65
5.	Zona angkur pascatarik ( <i>post-tension</i> )	0,85
6.	Bracket dan korbel	0,75
7.	<i>Strut, ties, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan strutand-tie</i>	0,75
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 – 0,75

(sumber: Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019, hal 469)

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

**Tabel 3. 2 Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial**

Regangan tarik netto ( $\epsilon_t$ )	Klasifikasi	$\phi$	
		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, diperbolehkan memakai nilai faktor reduksi sama dengan penampang terkendali tekan

(sumber: Tabel 21.2.2 SNI 2847:2019, hal 471)

3. Menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.3, faktor reduksi untuk penampang pada komponen prategang dimana *strand* belum bekerja, maka nilai  $\phi$  dihitung berdasarkan tabel 3.3.

**Tabel 3. 3 Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  untuk seksi akhir dari prategang**

Kondisi di dekat ujung komponen	Tegangan beton akibat tegangan	Jarak ujung komponen kepenampang yang ditinjau	$\phi$
Semua <i>strand</i> terlekat	Tidak berlaku	$\leq l_{tr}$	0,75
		$l_{tr}$ hingga $l_d$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90*
Satu atau lebih <i>strand</i> tanpa lekatan	Tarik tidak terhitung	$\leq (l_{db} + l_{tr})$	0,75
		$(l_{db} + l_{tr})$ hingga $(l_{db} + l_d)$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90*
	Tarik terhitung	$\leq (l_{db} + l_{tr})$	0,75
		$(l_{db} + l_{tr})$ hingga $(l_{db} + 2l_d)$	Interpolasi linear dari 0,75 ke 0,90*

\* Tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif (setelah semua kehilangan prategang terjadi) pada serat terjauh penampang dimana tegangan tarik akibat beban terjadi.

\* Diperbolehkan memakai nilai faktor reduksi 0,75.

(sumber: Tabel 21.2.3 SNI 2847:2019, hal 473)

4. Menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.4 untuk struktur yang bergantung dari elemen sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan dinding struktural pracetak menengah yang memenuhi persyaratan kategori desain seismik D, E, atau F, untuk menahan gaya gempa, nilai faktor reduksi untuk gaya geser harus dimodifikasi sebagai berikut:

- a) Untuk komponen yang didesain dapat menahan gaya gempa, nilai faktor reduksi untuk geser jika kekuatan nominal penampang kurang dari kekuatan geser nominal beton, adalah sebesar 0,60.
- b) Untuk diafragma, nilai faktor reduksi geser tidak boleh melebihi nilai faktor reduksi minimum yang digunakan untuk komponen vertikal dalam sistem struktur tahan gempa.
- c) Untuk sambungan balok-kolom dan balok kopel dengan tulangan diagonal, maka nilai faktor reduksi sebesar 0,85.

### **3.4 Perencanaan Beban Gempa**

#### **1. Gempa Rencana**

Dalam SNI 1726:2019 pasal 4.1.1, dijelaskan bahwa pengaruh gempa rencana

harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung, serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %. Dengan adanya pengaruh dari gempa rencana, struktur gedung harus tetap berdiri secara keseluruhan, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

## 2. Klasifikasi Situs

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

**Tabel 3. 4 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	$\geq 100$
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:		
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w &gt; 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser nilaril, <math>\bar{S}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		

Tabel 3. 5 (Lanjutan)

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil bagian tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau rumah akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$ )		
	- 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		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

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

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

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n v_{si}} \quad (3-27)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (3-28)$$

$$\bar{S}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^n S_{ui}} \quad (3-29)$$

Keterangan:

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

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

$\bar{S}_u$  = kuat geser niralir

3. Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa maksimum

Dalam SNI 1726:2019 pasal 6.2, dijelaskan bahwa untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3-30)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_l \quad (3-31)$$

keterangan:

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

$S_l$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik.

Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dapat diperoleh dari tabel 3.5. dan tabel 3.6

Nilai  $S_s$  dan  $S_l$  dapat ditentukan melalui aplikasi peta gempa dan respon spektra RSA 2019 yang dimiliki oleh Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

**Tabel 3. 6 Koefisien Situs,  $F_a$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) 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

**Tabel 3. 7 (Lanjutan)**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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 <sup>b</sup>					

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

**Tabel 3. 8 Koefisien Situs,  $F_v$** 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) 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	2,4	2,0
SF	SS <sup>b</sup>					

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

#### 4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Menurut SNI 1726:2019 pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms} \quad (3-32)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{m1} \quad (3-33)$$

#### 5. Kategori Resiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.1.2, kategori risiko tiap bangunan berbeda yang diklasifikasikan menurut fungsi bangunan. Kategori risiko struktur bangunan

gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel 3.7, dan pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  sesuai tabel 3.8

**Tabel 3. 9 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"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gedung penyimpanan</li> </ul> <p>Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</p>	I
<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"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<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"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III

**Tabel 3.7 (lanjutan)**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<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"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV. (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penangan, 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 kandungannya 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 ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> </ul> <p>Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV

**Tabel 3.7 (lanjutan)**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	IV

(sumber: Tabel 3 – SNI 1726:2019, hal 24)

**Tabel 3. 10 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)

#### 6. Kategori Desain Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pasal 6.5, kategori desain sesimik dapat ditentukan dengan menggunakan nilai  $SDS$  dan  $SDI$  berdasarkan Tabel 3.9 dan Tabel 3.10. Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan respons pada periode pendek sebagai berikut :

**Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek**

Nilai $SDS$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

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

**Tabel 3. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik**

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

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

### 7. Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Dalam SNI 1726:2019 pasal 7.2.2, dijelaskan bahwa sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\alpha$  harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel 12 SNI 1726:2012 halaman 49-51.

### 8. Periode Fundamental Pendekatan

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

- a. Periode fundamental pendekatan minimum

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-34)$$

Keterangan :

$T_a$  = nilai batas bawah periode bangunan

$h_n$  adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi

struktur dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel 3.11.

**Tabel 3. 13 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 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

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

72)

b. Periode fundamental pendekatan maksimum

$$T_{a maks} = C_u T_a \quad (3-35)$$

Nilai  $C_u$  ditentukan dari tabel 3.12.

**Tabel 3. 14 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung**

Parameter percepatan respon 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)

Syarat nilai  $T$  yang akan digunakan sebagai periode fundamental sebagai berikut:

- a)  $T_{computer} > T_a$  maksimum, maka digunakan  $T_a$  maksimum
- b)  $T_a < T_{computer} < T_a$  maksimum, maka digunakan  $T_{computer}$
- c)  $T_{computer} < T_a$ , maka digunakan  $T_a$

#### 9. Keefisien Respon Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1, koefisien respon seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3-36)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai persamaan (3-28) tidak boleh melebihi persamaan berikut

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T} \frac{1}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3-37)$$

Nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-38)$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_I$  sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka  $C_s$  tidak boleh kurang dari

$$C_s = \frac{0,5S_1}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3-39)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respon seismik

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

$I_e$  = faktor keutamaan gempa dalam Tabel 3.8

$T$  = periode fundamental struktur (detik)

$S_I$  = parameter percepatan spektrum respon maksimum

#### 10. Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.1, gaya dasar seismik ( $V$ ), dalam arah yang ditetapkan ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3-40)$$

Keterangan :

$W$  = berat seismik efektif

$C_s$  = koefisien respon seismik

#### 11. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.3, gaya seismik lateral, ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-41)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (3-42)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-43)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

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

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

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

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

berikut :

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

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

Jika  $0,5 > T > 2,5$ , maka nilai  $k$  di tentukan dengan interpolasi dengan linier antara 1 dan 2

### **3.5 Perencanaan Atap**

Rangka atap atau konstruksi kuda-kuda adalah suatu bagian dari struktur gedung yang berfungsi sebagai tempat meletakkan penutup atap sehingga dalam perencanaan, pembebanan tergantung dari jenis penutup atap yang digunakan. Menurut Wigroho (2019) tahapan perencanaan atap dimulai dengan menentukan denah atapnya, kemudian dilanjutkan dengan melakukan perencanaan gording. Untuk merencanakan atap, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, seperti:

1. Jarak gording mendatar untuk atap genteng atau sirap antara 1500 mm sampai 2000 mm, sedangkan untuk atap seng atau asbes antara 1000 sampai 1300 mm.
2. Bentang gording ditentukan oleh jarak antar kuda-kuda, sebaiknya jarak kuda-kuda sama dengan jarak kolom struktur. Tetapi kalau tidak memungkinkan jarak kuda-kuda diambil antara 2500 mm sampai 4000 mm

untuk atap genteng atau sirap. Untuk atap seng atau asbes jarak kuda-kuda bisa diambil sampai 6000 mm.

3. Jumlah sag-rod atau batang tarik penahan beban arah sumbu lemah gording ditentukan oleh bentang gording (jarak kuda-kuda). Jarak sag-rod biasa diambil maksimum 2000 mm.
4. Batang ikatan angin dipasang dengan bentuk silang diantara kuda-kuda. Ikatan angin ini tidak perlu dipasang pada setiap kuda-kuda, tetapi dapat dipasang selang-seling.

### **3.6 Perencanaan Pelat dan Tangga**

Pelat berdasarkan arah momen lentur yang terjadi dibagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

#### **3.6.1 Pelat Satu Arah**

Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu pada kedua sisi yang berhadapan, sehingga momen lentur terjadi pada satu arah. Ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.13

**Tabel 3. 15 Tabel minimum ketebalan 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)

Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sebagai berikut :

- a. Untuk  $f_y$  lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y / 700)$ .
- b. Untuk pelat non-prategang yang terbuat dari beton ringan dengan  $w_c$  berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m<sup>3</sup>, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:
  - a)  $1,65 - 0,0003w_c$
  - b) 1,09

### **3.6.2 Pelat Dua Arah**

Pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu pada keempat sisinya, sehingga momen lentur terjadi pada dua arah. Ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.14 dan tidak boleh kurang dari :

- a. Tanpa panel drop adalah 125 mm
- b. Dengan panel drop adalah 100 mm

**Tabel 3. 16 Ketebalan minimum pelat dua arah non-prategang tanpa balok interior<sup>[1]</sup>**

$f_y$ Mpa <sup>[2]</sup>	Tanpa <i>drop</i> panel <sup>[3]</sup>			Dengan <i>drop</i> panel <sup>[3]</sup>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>[4]</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>[4]</sup>	
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	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

<sup>[1]</sup> 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.

<sup>[2]</sup> Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

<sup>[3]</sup> Panel drop didefinisikan dalam SNI 2847:2019 pasal 8.2.4

<sup>[4]</sup> Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_f$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(sumber: Tabel 8.3.1.1 – SNI 2847:2019, hal 134)

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h$ , harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Untuk  $afm$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus mengikuti syarat

Tabel 3.14

2. Untuk  $afm$  lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2,0  $h$  tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_fm - 0,2)} \quad (3-44)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

3. Untuk  $\alpha f m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (3-45)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha f$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan dengan persamaan (3-36) dan (3-37) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

### 3.6.3 Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengitung pembebanan pelat yang dirancang dengan beban hidup dan beban mati sesuai dengan SNI 1727:2019. Menentukan momen pada pelat dengan bantuan tabel PBI 1971
2. Menentukan tebal minimum pelat sesuai syarat berdasarkan tabel 3.13 untuk pelat satu arah dan tabel 3.14 untuk pelat dua arah
3. Menghitung rasio penulangan pelat arah y dan arah x dengan menggunakan rumus berikut:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-46)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-47)$$

$$\rho_{max} = \frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-48)$$

Keterangan:

$R_n$  = Koefisien tahanan

$\rho$  = rasio penulangan

$A_s$  = luas tulangan tarik

$b_w$  = lebar (1 meter)

$d$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusang tulangan tarik

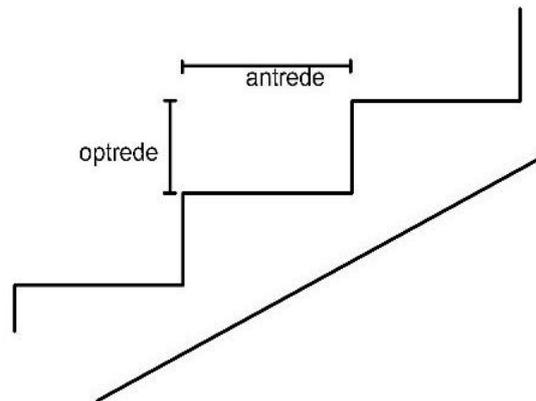
$f_y$  = kuat leleh baja tulangan

4. Menentukan spasi antar tulangan dengan menggunakan rumus berikut:

$$S = \frac{b \cdot A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \quad (3-49)$$

#### 3.6.4 Perencanaan Tangga

Tangga adalah suatu konstruksi yang menghubungkan dua tingkat dengan elevasi yang berbeda. Dalam perancangan tangga tahapan yang dikerjakan dimulai dengan menentukan optrede dan antrede kemudian dilanjutkan dengan tahapan perancangan pelat. Dalam perhitungan momen digunakan perhitungan menggunakan analisis struktur dengan beban hidup dan beban mati. Optrede (O) adalah langkah naik dari anak tangga, optrede pada umumnya berkisar antara 15-20 cm. Sedangkan Antrede (A) adalah langkah datar dari anak tangga yang berkisar antara 20-30 cm. Untuk sudut kemiringan tangga pada umumnya berada diantara 25-40 derajat, dengan penggunaan optrede dan antrede memenuhi syarat,  $2O + A$  bernilai antara 58 sampai 63 cm



Gambar 3.1 Optrede dan Antrede tangga

Untuk perhitungan tangga dapat dimodelkan dimana ujung perletakan pada pelat dianggap sebagai sendi dan perletakan bordes dianggap sebagai rol dengan anggapan tangga merupakan unsur sekunder yang tidak mempengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan. Perencanaan tangga dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Koefisien tahanan didefinisikan dengan persamaan:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-50)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-51)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \quad (3-52)$$

$\rho$  yang dipakai adalah nilai terbesar antara  $\rho_{min}$  dan  $\rho$

2. Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan untuk komponen struktur lentur dapat menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-53)$$

3.  $A_s$  yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung jumlah tulangan dengan pembulatan ke atas, jumlah tulangan =  $A_s /$  luas satu buah

tulangan. Dan periksa syarat  $\phi M_n > M_u$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left( d - 0,588 \frac{A_s f_y}{f' c . b w} \right) \quad (3-54)$$

5. Luas tulangan maksimum pada komponen struktur lentur adalah:

$$\rho_{max} = 0,004 \quad (3-55)$$

$$A_{s \max} = \rho_{max} . b . d \quad (3-56)$$

6. Cek luas kebutuhan:

$$A_{s \min} \leq A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \max}$$

### **3.7 Perencanaan Balok**

Balok merupakan bagian struktur bangunan yang penting dan berfungsi untuk memikul beban transversal yang dapat berupa beban lentur, geser maupun torsi. Oleh karena itu perencanaan balok yang efisien, ekonomis dan aman sangatlah penting untuk suatu struktur bangunan terutama struktur bertingkat tinggi atau struktur berskala besar. Proses desain suatu balok harus memperhatikan bagaimana sebuah penampang elemen struktur dapat mampu menahan atau memikul momen maksimum yang terjadi. Perencanaan balok dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi balok

Menurut SNI 2847;2019 pasal 9.3.1.1, tinggi minimum balok dapat ditentukan pada tabel 3.15.

**Tabel 3. 17 Tinggi minimum balok non-prategang**

Kondisi tumpuan	$h^*$ minimum
Tumouan sederhana	$l / 16$
Satu ujung menerus	$l / 18,5$
Kedua ujung menerus	$l / 21$
Kantilever	$l / 8$
Keterangan: * Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan $f_y = 420$ Mpa Untuk $f_y$ lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.13, harus dikalikan dengan <b>(0,4 + <math>f_y / 700</math>)</b> .	

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

Tinggi balok dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{1}{10} L \text{ sampai } \frac{1}{16} L \quad (3-57)$$

Untuk menentukan lebar balok, maka dapat digunakan persamaan berikut:

$$b = \frac{1}{2} h \text{ sampai } \frac{2}{3} h \quad (3-58)$$

## 2. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Tulangan lentur dirancang terhadap momen lentur akibat beban terfaktor ( $M_u$ ). Nilai momen lentur akibat beban terfaktor diperoleh dari hasil analisa struktur dengan alat bantu program komputer. Keofisien tahanan dihitung dengan rumus:

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

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

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \quad (3-53)$$

$\rho$  yang dipakai adalah nilai terbesar antara  $\rho_{min}$  dan  $\rho$ .

Periksa syarat rasio tulangan terhadap syarat rasio tulangan maksimum

:

$$\rho_{max} = \frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-61)$$

Apabila  $\rho \leq \rho_{max}$ , maka balok dirancang sebagai balok tulangan tunggal.

Apabila  $\rho > \rho_{max}$ , maka balok dirancang sebagai balok tulangan rangkap.

Menghitung luas tulangan yang dibutuhkan untuk komponen struktur lentur dapat menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-62)$$

Dengan nilai  $A_s$  yang telah didapatkan, kemudian digunakan untuk menghitung jumlah tulangan.

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

Periksa  $\phi M_n > M_u$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3-64)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad (3-65)$$

Nilai  $\phi$  dapat dilihat pada tabel 3.2

### 3. Perhitungan tulangan geser

Menurut SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1, perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan berikut :

$$\phi V_n > V_u \quad (3-66)$$

Nilai  $V_u$  diperoleh dari *output* alat bantu program komputer.

Keterangan:

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Menentukan kuat geser nominal beton dapat

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d ; \text{dimana } \lambda = 1 \quad (3-67)$$

Menentukan kuat geser nominal tulangan geser dapat dihitung dengan

persamaan berikut:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-68)$$

$$V_s < 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-69)$$

Menentukan spasi antar tulangan geser dapat digunakan persamaan

berikut :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-70)$$

Menurut SNI 2847 : 2019 pasal 9.7.6.2.2, spasi maksimum tulangan

geser harus sesuai dengan tabel 3.16.

**Tabel 3. 18 Spasi maksimum tulangan geser**

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

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

### 3.8 Perencanaan Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang terkena beban tekan tanpa memperhatikan momen lentur juga bekerja. Kolom beton mempunyai tulangan longitudinal, yang paralel dengan arah kerja beban dan disusun menurut pola segi empat, bujur sangkar dan lingkaran. Apabila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur yang lain yang berhubungan dengannya atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan. Perencanaan struktur kolom pada tugas akhir ini adalah kolom berbentuk segi empat dan beban yang bekerja merupakan beban sentris dan beban eksentris. Perencanaan kolom dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

#### 1. Estimasi dimensi kolom

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban yang bekerja meliputi beban mati dan hidup balok, pelat, serta berat dari lantai di atas kolom tersebut.

Rumus yang digunakan untuk memperkirakan dimensi kolom adalah:

$$\phi Pn_{max} = 0,85\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-71)$$

Persamaan di atas apabila komponen struktur menggunakan tulangan spiral, apabila menggunakan tulangan pengikat dipakai persamaan berikut :

$$\phi Pn_{max} = 0,8\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-72)$$

keterangan :

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$Pn_{max}$  = kekuatan 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

## 2. Mengecek pengaruh kelangsingan

Kelangsingan suatu kolom dapat dinyatakan dalam suatu rasio yang disebut rasio kelangsingan. Suatu kolom dikatakan ramping atau langsing apabila dimensi penampangnya lebih kecil bila dibandingkan dengan panjangnya. Apabila angka kelangsingan kolom melebihi batas untuk kolom pendek, maka kolom tersebut akan mengalami tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material. Menurut SNI 2847:2019 pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan pada komponen struktur yang tidak ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan apabila memenuhi persamaan:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22 \quad (3-73)$$

Sedangkan kontrol kelangsingan kolom untuk rangka portal bergoyang, untuk komponen struktur yang ditahan terhadap goyangan samping, pengaruh kelangsingan dapat diabaikan bila:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 23 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

dan  $\frac{k l_u}{r} \leq 40 \quad (3-74)$

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. Mengecek kuat lentur

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (3-75)$$

Keterangan :

$\Sigma M_{nc}$  = jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint

$\Sigma M_{nb}$  = jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint

### 4. Mengecek gaya geser

Perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan berikut:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (3-76)$$

Keterangan:

$\Phi$  = faktor reduksi kekuatan

$V_n$  = kuat geser nominal =  $V_c + V_s$

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Kuat geser yang disumbang beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (3-77)$$

dan

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-78)$$

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

$f_y$  = tegangan leleh baja

$f'_c$  = kuat tekan beton yang disyaratkan

Spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a.  $1/4$  dimensi komponen struktur
- b.  $6d$  batang tulangan longitudinal terkecil
- c.  $S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$

Dengan  $100 \text{ mm} \leq S_o \leq 150 \text{ mm}$

### 3.9 Perencanaan Fondasi

Perencanaan fondasi digunakan untuk bangunan bertingkat ini adalah fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* adalah salah satu jenis dari berbagai macam bentuk dan jenis fondasi dalam dengan memiliki bentuk seperti tabung yang terdiri dari campuran beton bertulang dengan dimensi diameter tertentu yang dipasang kedalam tanah dengan menggunakan metode pengeboran terkini sampai kedalam dengan tingkat kekerasan daya dukung tanah yang diperlukan untuk sesuatu konstruksi bangunan. Perencanaan fondasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

#### 1. Menghitung daya dukung fondasi

Daya dukung fondasi *bore pile* mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan kapasitas tahanan ujung (*end bearing capacity*) dan tahanan selimut tiang (*shaft bearing capacity*) dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (3-79)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot P \quad (3-80)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (3-81)$$

Keterangan

$Q_u$  = daya dukung ultimit tiang

$Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang

$Q_p$  = daya dukung ultimit ujung tiang

$f$  = gaya gesek yang terjadi pada tiang

$L$  = panjang tiang

$Ab$  = luas alas tiang

$qp$  = tahanan ujung persatuan luas

2. Menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang

Jumlah kebutuhan tiang dalam kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$n = \frac{N}{P_{i, \text{tiang}}} \quad (3-82)$$

Menurut Sardjono (1998), jarak antar sumbu tiang harus memenuhi syarat-syarat berikut:

a) Jarak antar tiang

$$S \rightarrow 2,5 D \leq S \leq 3,0 D \quad (3-83)$$

b) Jarak tiang ke tepi

$$S = 1,25 D \text{ untuk tiang pancang} \quad (3-84)$$

$$S = 1,0 D \text{ untuk tiang dicor ditempat} \quad (3-85)$$

keterangan :

$N$  = beban normal

$P_i$  = daya dukung satu tiang

3. Menghitung efisiensi kelompok tiang

Daya dukung tiang akan berkurang ketika berada dalam suatu kelompok. Pengurangan daya dukung tiang tersebut dikarenakan adanya penyebaran tegangan di sekeliling tiang. Oleh karena itu diperlukan angka efisiensi kelompok tiang untuk mengetahui keamanan dari tiang-tiang yang telah dikelompokkan. Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

*Converse Labarre*

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \quad (3-86)$$

Keterangan :

$\eta$  = beban normal

$m$  = jumlah deret tiang

$n$  = jumlah tiang setiap deret

$\theta$  = arc tan ( $d/s$ )

$d$  = diameter tiang

$s$  = jarak antar tiang

#### 4. Menghitung kontrol reaksi tiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut:

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \quad (3-87)$$

Keterangan

$P_{\max}$  = beban maksimum yang diterima tiang

$n$  = jumlah tiang dalam satu *pile cap*

$\sum V$  = jumlah total beban normal

$M_x$  = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x

$M_y$  = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus 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

5. Kontrol pemindahan beban kolom pada fondasi

$\phi P_k >$  gaya aksial rencana

$$\phi P_k = 0,8\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-88)$$

keterangan:

$P_k$  = kemampuan menahan gaya aksial oleh kolom

$A_g$  = luas penampang bruto suatu kolom

$A_{st}$  = luas penampang tulangan kolom

6. Mengecek geser satu arah *pile cap*

Geser satu arah hanya terjadi pada satu sisi *pile cap*, sehingga diperhitungkan terhadap daya dukung tiang pada satu sisi saja

$$V_u < \phi V_n \quad (3-89)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-90)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (3-91)$$

$$V_u = \sum P_u \text{ 1 arah} \quad (3-92)$$

Keterangan

$V_u$  = gaya geser terfaktor penampang

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser nominal yang disediakan oleh beton

$P_u$  = beban terfaktor pada fondasi tiang

$\phi$  = faktor reduksi

$b_o$  = penampang kritis

$d$  = tinggi efektif

7. Mengecek geser dua arah *pile cap*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat geser dua arah *pile cap* sebagai berikut:

$$V_u < \phi V_n \quad (3-93)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-94)$$

Nilai kuat geser beton diambil terkecil dari:

$$V_c = \frac{1}{6} \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-95)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-96)$$

$$V_c = \frac{1}{12} \left( \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-97)$$

$$V_u = \sum P_u \text{ 2 arah} \quad (3-98)$$

$$\beta_c = \frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}} \quad (3-99)$$

Keterangan :

$V_u$  = gaya geser terfaktor penampang

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser nominal yang disediakan oleh beton

$\phi$  = faktor reduksi

$b_o$  = penampang kritis

$d$  = tinggi efektif

$\beta_c$  = rasio dimensi panjang

$\alpha_s$  = konstanta yang nilainya tergantung pada letak kolom

40 untuk fondasi dengan letak kolom pada bagian dalam bangunan

30 untuk fondasi dengan letak kolom pada bagian tepi bangunan

20 untuk fondasi dengan letak kolom pada bagian sudut bangunan

