

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Analisis Pembebanan

Pembebanan dalam merancang suatu struktur bangunan merupakan faktor penting supaya struktur bangunan tersebut dapat berdiri dengan aman dan stabil. Beban-beban yang digunakan dalam perancangan struktur bangunan gedung adalah beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

##### 3.1.1. Kekuatan Perlu

Menurut SNI 2847:2019 pasal 4.2.2, berikut kombinasi beban yang digunakan untuk menghitung kuat perlu ( $U$ ):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

$D$  = beban mati (*dead load*)

$L$  = beban hidup (*live load*)

$E_x$  = beban gempa arah horizontal

$E_y$  = beban gempa arah vertikal

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

$\rho$  = faktor redundansi

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>.

### 3.1.2. Kekuatan desain

Menurut SNI 2847:2019 , kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal yang dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi$ .

1. Faktor reduksi kekuatan untuk komponen beton struktural dan sambungan.

Berikut faktor reduksi kekuatan  $\phi$  menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.1 yaitu:

- a. Geser dan torsi = 0,75
- b. Tumpuan pada beton = 0,65
- c. Daerah angkur pascatarik = 0,85
- d. *Bracket* dan korbel = 0,85
- e. *Strut, ties*, zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan *strutand-tie* = 0,75
- f. Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik. = 0,90
- g. Beton polos. = 0,60
- h. Angkur dalam elemen beton. = 0,45 – 0,75
2. Faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial. Berikut faktor reduksi kekuatan  $\phi$  menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.2 sesuai dengan table 3.1.

Tabel 3.1 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 47)

3. Faktor reduksi kekuatan untuk penampang pada komponen prategang dimana *strand* belum bekerja. Berikut faktor reduksi kekuatan  $\phi$  menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.3 sesuai dengan tabel 3.2.

Tabel 3.2. Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  untuk seksi akhir dari prategang

Kondisi didekat ujung komponen	Tegangan beton akibat beban layan*	Jarak dari ujung komponen ke penampang 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 <sup>#</sup>
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 <sup>#</sup>
	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 <sup>#</sup>

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

<sup>#</sup> Diperbolehkan memakai nilai faktor reduksi 0,75.

(sumber: Tabel 21.2.3 – SNI 2847:2019, hal 47)

4. Faktor reduksi kekuatan untuk menurut SNI 2847:2019 pasal 21.2.4 untuk gaya geser struktur yang bergantung pada sistem rangka pemikul momen khusus, dinding struktural khusus, dan dinding struktural pracetak menengah yang memenuhi persyaratan kategori desain seismik D, E, atau F, harus dimodifikasi sebagai berikut:
- Untuk komponen yang didesain dapat menahan gaya gempa, jika kekuatan nominal penampang lebih kecil dari kekuatan nominal beton, maka nilai faktor reduksi geser 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.

### **3.1.3. Perencanaan Beban Gempa**

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.1, dijelaskan bahwa gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

#### **2. Klasifikasi Situs**

Menurut SNI 1726:2019 pasal 5, dijelaskan bahwa klasifikasi suatu situs diperlukan untuk memperoleh kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi bangunan. Profil tanah di suatu situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3.3, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 3.3 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 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>S_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 0)	<p>Setiap profil bagian tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau rumah akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math>m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>S_u &lt; 50</math> kPa)</li> </ul> <p>Lapisan lempung lunak/setenga teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>S_u &lt; 50</math> kPa</p>		

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

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

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

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

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

Keterangan:

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

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

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

3.  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.2, nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

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

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3-23)$$

Keterangan:

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

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

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

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

Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan berdasarkan tabel 3.4. dan tabel 3.5.

Nilai  $S_s$  dan  $S_I$  dapat dicari melalui website desain spektra Indonesia di [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra Indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/)

Tabel 3.4. Koefisien Situs,  $F_a$ 

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

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

Tabel 3.5 Koefisien Situs,  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 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

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

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

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

#### 5. Katergori Risiko

Kategori risiko tiap bangunan berbeda-beda. Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.1.2, setiap bangunan diklasifikasikan berdasarkan fungsi bangunannya. Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel 3.6, dan pengaruh gempa rencananya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan ( $I_e$ ) berdasarkan tabel 3.7.

Tabel 3.6. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gedung penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	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 3.6. (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 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 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> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <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> <li>- 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</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

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

Tabel 3.7. 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

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.5, dengan menggunakan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , maka kategori desain seismik ditentukan sesuai tabel 3.8 dan tabel 3.9.

Tabel 3.8. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

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

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

Tabel 3.9. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 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 6 – SNI 1726:2019, hal 37)

## 7. Sistem Penahan Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.2.2, dijelaskan bahwa sistem pemikul gempa memiliki nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  yang berbeda-beda sesuai sistem struktur yang digunakan. Nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  dapat dilihat pada tabel 9 SNI 1726:2019 hal 49.

## 8. Periode Fundamental

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1, periode fundamental pendekatan harus ditentukan dari persamaan-persamaan berikut:

a) Periode fundamental pendekatan minimum

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

Keterangan :

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel 3.10.

Tabel 3.10. Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$ .

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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

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

Nilai  $C_u$  ditentukan dari tabel 3.11.

Tabel 3.11. Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda 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:

- $T_{comp} > T_{a \text{ maks}}$ , maka digunakan  $T_{a \text{ maks}}$
- $T_a < T_{comp} < T_{a \text{ maks}}$ , maka digunakan  $T_{comp}$
- $T_{comp} < T_a$ , maka digunakan  $T_a$

## 9. Koefisien Respon Seismik

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \frac{1}{T_e} \quad (3-28)$$

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

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

Nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari:

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

Untuk struktur didaerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih dari 0,6g, maka

$C_s$  tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-31)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respon seismik

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

$I_e$  = faktor keutamaan gempa dalam Tabel 3.7

T = periode fundamental struktur (detik)

#### 10. Gaya Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1, gaya dasar seismik, dalam arah yang ditetapkan ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

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

Keterangan :

W = berat seismik efektif

#### 11. Distribusi Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 beban lateral gempa yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan dengan persamaan:

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

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

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

Keterangan:

- $C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal  
 $V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, 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 perioda struktur 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

### 3.2. Perencanaan Atap

Tahapan perencanaan atap dimulai dengan menentukan denah atapnya, lalu dilanjutkan dengan melakukan perencanaan gording. Untuk merencanakan atap, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu (Wigroho, 2019):

1. Jarak gording mendatar untuk atap genteng atau sirap antara 1500 mm sampai 2000 mm, sedangkan untuk atap seng atau asbes antara 1000 sampai 1200 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.

### 3.3. Perencanaan Pelat

Berdasarkan arah momen lenturnya maka pelat dibagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

#### 3.3.1. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat dengan nilai perbandingan antara sisi terpanjang pelat terhadap sisi terpendek pelat yang lebih besar dari 2. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1, ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.12.

Tabel 3.12. 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)

Tambahan :

- Untuk  $f_y$  lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.12, harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y / 700)$ .
- 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 3.12, harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:
  - a)  $1,65 - 0,0003w_c$
  - b) 1,09

### 3.3.2. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat dengan nilai perbandingan antara sisi terpanjang pelat terhadap sisi terpendek pelat yang lebih kecil atau sama dengan 2. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1, ketebalan minimum pelat solid non-prategang dapat dilihat pada tabel 3.13 dan tebal pelat tidak boleh kurang dari 125 mm (jika tidak menggunakan *drop panel*) atau 100 mm (jika menggunakan *drop panel*).

Tabel 3.13. Ketebalan minimum pelat dua arah non-prategang tanpa balok interior\*

$f_y$ Mpa †	Tanpa <i>drop panel</i> ‡			Dengan <i>drop panel</i> ‡		
	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	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

\* Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.

† Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

‡ Panel drop didefinisikan dalam SNI 2847:2013 pasal 13.2.5.

§ 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 133)

### 3.3.3. Perancangan Pelat

Berikut merupakan tahapan perancangan pelat:

1. Menghitung pembebanan pelat berdasarkan SNI 1727:2018.

2. Menentukan momen pada pelat dengan menggunakan tabel PBI 1971.
3. Menentukan tebal minimum pelat berdasarkan tabel 3.12 dan 3.13
4. Menghitung rasio penulangan pelat dengan menggunakan rumus berikut:

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

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

$$\rho_{max} = \frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-38)$$

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 pusat tulangan tarik

$f_y$  = kuat leleh baja tulangan

5. Menentukan spasi antar tulangan dengan menggunakan rumus:

$$S = \frac{b \cdot A_s \text{ tulangan}}{A_s \text{ perlu}} \quad (3-39)$$

### 3.4. Perencanaan Balok

#### 3.4.1. Dimensi balok

1. Tinggi minimum balok (h)

Menurut SNI 2847;2019 pasal 9.3.1.1, tinggi minimum balok dapat ditentukan pada tabel 3.14.

Tabel 3.14. Tinggi minimum balok non-prategang

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

Keterangan:  
 \* berlaku untuk beton normal dan  $f_y = 420$  Mpa  
 • Untuk  $f_y$  lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 3.14, harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y / 700)$ .

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

Tinggi balok ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{1}{10} L \text{ sampai } \frac{1}{16} L \quad (3-40)$$

## 2. Lebar balok (b)

Untuk menentukan lebar balok, maka dapat digunakan persamaan berikut :

$$b = \frac{1}{2} h \text{ sampai } \frac{2}{3} h \quad (3-41)$$

**3.4.2. Tulangan longitudinal balok**

Tulangan lentur dirancang terhadap momen lentur akibat beban terfaktor ( $M_u$ ). Nilai momen lentur akibat beban terfaktor diperoleh dari *output* alat bantu program komputer.

1. Menghitung rasio penulangan balok dengan menggunakan rumus berikut:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (3-42)$$

$$\rho = \frac{0,85.f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f'c}} \right) \quad (3-43)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \quad (3-44)$$

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

2. Pemeriksaan syarat rasio tulangan terhadap syarat rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{max} = \frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3-45)$$

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

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

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

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-46)$$

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

$$n = \frac{A_s}{\text{luas satu buah tulangan}} \quad (3-47)$$

5. Periksa  $\phi M_n > M_u$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \quad (3-48)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-49)$$

Nilai  $\phi$  dapat dilihat pada tabel 3.2.

### 3.4.3. Tulangan transversal balok

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

$$\phi V_n > V_u \quad (3-50)$$

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

1. Menentukan kuat geser nominal beton dapat

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d ; \text{dimana } \lambda = 1 \quad (3-51)$$

2. Menentukan kuat geser nominal tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-52)$$

$$V_s < 0,66 \sqrt{f'_c} b_w \cdot d \quad (3-53)$$

3. Menentukan spasi antar tulangan geser dapat digunakan persamaan berikut :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-54)$$

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

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

### 3.5. Perencanaan Kolom

#### 3.5.1. Estimasi dimensi kolom

Pada perhitungan dimensi kolom, harus terlebih dahulu dilakukan perhitungan beban yang terdapat kolom. Rumus yang digunakan untuk menentukan dimensi kolom adalah:

- a) Untuk Komponen struktur dengan tulangan sengkang.

$$\phi Pn_{max} = 0,85\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-55)$$

- b) Untuk komponen struktur dengan tulangan spiral.

$$\phi Pn_{max} = 0,8\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-56)$$

Keterangan :

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$P_{nmax}$  = 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

#### 3.5.2. Kelangsingan kolom

Menurut SNI 2847:2019 pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Untuk kolom yang tidak ditahan terhadap goyangan samping:

$$\frac{k l_u}{r} \leq 22 \quad (3-57)$$

- b) Untuk kolom yang ditahan terhadap goyangan samping.

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

$$\text{dan } \frac{k l_u}{r} \leq 40 \quad (3-58)$$

Keterangan:

$k$  = faktor panjang efektif untuk komponen struktur

$l_u$  = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

$M_1$  = momen ujung terfaktor terkecil pada komponen struktur tekan

$M_2$  = momen ujung terfaktor terbesar pada komponen struktur tekan

### 3.5.3. Kuat lentur kolom

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb} \quad (3-59)$$

Keterangan :

$M_{nc}$  = Kuat lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

$M_{nb}$  = Kuat lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

### 3.5.4. Tulangan transversal kolom

Desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-60)$$

dimana  $V_u$  adalah gaya geser akibat beban terfaktor yang diperoleh dari output *ETABS* dan  $V_n$  adalah kuat geser nominal.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1, dijelaskan bahwa kuat geser untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d \quad (3-61)$$

Untuk perhitungan kuat geser kolom dan jarak antar spasi sengkang, dapat menggunakan persamaan (3-51) sampai persamaan (3-53).



### 3.6. Perencanaan Tiang Pancang

#### 3.6.1. Daya dukung tiang pancang

Daya dukung tiang pancang diperoleh dengan menjumlahkan daya dukung tiang pancang pada bagian ujung tiang dan daya dukung tiang pancang pada bagian selimut tiang.

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (3-62)$$

$$Q_s = \mu_s \cdot N_r \cdot A_s \quad (3-63)$$

$$Q_b = \mu_b \cdot N_b \cdot A_b \quad (3-64)$$

$$N_b = (N_1 + N_2)/2 \quad (3-65)$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3-66)$$

#### Keterangan

$Q_u$  = daya dukung ultimit tanah

$Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang

$Q_b$  = daya dukung ultimit ujung tiang

$\mu_s$  = koefisien perlawanan gesek tiang

$N_r$  = nilai rata-rata  $N_{spt}$  sepanjang tiang

$A_s$  = luas selimut tiang

$\mu_b$  = koefisien perlawanan ujung tiang

$N_1$  = nilai  $N_{spt}$  pada ujung tiang

$N_2$  = nilai rata-rata  $N_{spt}$  sepanjang 4D diatas dasar tiang

$A_b$  = luas penampang tiang

$SF$  = faktor keamanan

#### 3.6.2. Kelompok tiang

Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang, maka dapat digunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{P_u}{Q_{ijin}} \quad (3-67)$$

Menurut Sardjono (1988), jarak antar sumbu tiang harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- a) Jarak antar tiang

$$S \rightarrow 2,5 D \leq S \leq 3,0 D \quad (3-68)$$

- b) Jarak tiang ke tepi

$$S' = 1,25 D ; \text{ untuk tiang pancang.} \quad (3-69)$$

$$S' = 1,0 D ; \text{ untuk tiang dicor ditempat.} \quad (3-70)$$

keterangan :

$n$  = jumlah kebutuhan tiang

$P_u$  = total beban normal

$D$  = diameter tiang

### 3.6.3. Efisiensi kelompok tiang

Ketika tiang berada dalam suatu kelompok, maka daya dukung tiang tersebut akan berkurang. Pengurangan daya dukung tiang tersebut terjadi karena adanya penyebaran tegangan disekeliling tiang. Maka dari itu, diperlukan angka efisiensi kelompok tiang untuk mengetahui keamanan tiang-tiang pancang yang telah dikelompokkan.

Efisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Converse Labarre* atau dapat menggunakan persamaan *Los Angeles*.

- a) Persamaan *Converse Labarre*

$$E_g = 1 - \frac{\theta}{90^0} \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \quad (3-71)$$

- b) Persamaan *Los Angeles*

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi.S.m.n} \left[ m(n-1) + n(m-1) + (n-1)(m-1)\sqrt{2} \right] \quad (3-72)$$

Keterangan :

- $\theta$  = arc tan (D/s)  
 $m$  = jumlah tiang pada 1 baris  
 $n$  = jumlah tiang pada 1 kolom  
 $S$  = jarak antar tiang  
 $D$  = diameter atau sisi tiang  
 $E_g$  = Efisiensi Kelompok Tiang

#### 3.6.4. Kontrol reaksi tiang

Kontrol beban yang diterima tiang dalam kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{maks} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \leq Q_{ijin} \quad (3-73)$$

Keterangan:

- $P_{maks}$  = beban maksimum yang diterima tiang  
 $n$  = jumlah tiang pada satu *pile cap*  
 $P_u$  = 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

#### 3.6.5. Kontrol 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. Berikut rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan geser satu arah:

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

$$V_u = q_u \cdot q \cdot L \quad (3-75)$$

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (3-76)$$

$$q = \frac{1}{2}L - \frac{1}{2}h \text{ kolom} - d \quad (3-77)$$

$$\emptyset V_n = \emptyset V_c \quad (3-78)$$

$$V_c = 0,17\sqrt{f'c} b_o d \quad (3-79)$$

### 3.6.6. Kontrol geser dua arah *pile cap*

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat geser dua arah *pile cap*.

$$V_u < \emptyset V_n \quad (3-80)$$

$$V_u = q_u \cdot A \quad (3-81)$$

$$\emptyset V_n = \emptyset V_c \quad (3-82)$$

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\sqrt{f'c} b_o d \quad (3-83)$$

$$V_c = 0,33\sqrt{f'c} b_o d \quad (3-84)$$

$$V_c = 0,083\left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o}\right)\sqrt{f'c} b_o d \quad (3-85)$$

$$\beta = \frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}} \quad (3-86)$$

Keterangan:

$V_u$  = gaya geser terfaktor penampang

$V_n$  = kekuatan geser nominal

$V_c$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton

$P_u$  = total beban normal

$b_o$  = penampang kristis

$A$  = luas *pile cap*

$L$  = lebar *pile cap*

$d$  = tinggi efektif

$\beta$  = rasio dimensi panjang

$\emptyset$  = factor reduksi

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

- 40 untuk pondasi dengan letak kolom pada bagian dalam bangunan
- 30 untuk pondasi dengan letak kolom pada bagian tepi bangunan
- 20 untuk pondasi dengan letak kolom pada bagian sudut bangunan

