

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perencanaan Beban Gempa

##### 3.1.1 Klasifikasi Situs

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. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.1, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 3.1 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{60}$	$\bar{\tau}_u$ (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	$\geq 100$
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 : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{\tau}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-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 sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{\tau}_u < 50$ kPa		

**CATATAN:** N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber SNI 1726-2012)

### 3.1.2 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 0,1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran 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 berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (3-1)$$

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

$S_S$  merupakan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek, sedangkan  $S_1$  merupakan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik. Nilai dari  $S_S$  dan  $S_1$  ditentukan dari peta gerak tanah seismik. Nilai  $F_a$  didapat dari Tabel 3.2., dan nilai  $F_v$  didapat dari Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Koefisien situs,  $F_a$

Kelas situs	$S_S$				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
$S_A$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$S_B$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$S_C$	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
$S_D$	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
$S_E$	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
$S_F$	$SS^b$				

Tabel 3.3 Koefisien situs,  $F_v$ 

Kelas situs	$S_1$				
	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
$S_A$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$S_B$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$S_C$	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
$S_D$	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
$S_E$	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
$S_F$	$SS^b$				

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

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

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

Keterangan:

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

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

### 3.1.3 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menentukan kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan fungsi bangunan. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor keutamaan gempa

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

### 3.1.4 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , maka kategori desain seismik bangunan dapat ditentukan sesuai Tabel 3.5. dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I,II,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

Tabel 3.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I,II,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

- Jika  $S_1 > 0,75$ 
  - Untuk kategori risiko I/II/III : maka KDS E
  - Untuk kategori risiko IV: maka KDS F

- Jika  $S_1 \leq 0,04$  g dan  $S_5 \leq 0,15$  g  $\rightarrow$  KDS A

### 3.1.5 Periode Fundamental Pendekatan

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

$$T_a = C_t H_n^x \quad (3-5)$$

Keterangan:

$H_n$  adalah ketinggian struktur, dalam meter, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 3.7

Tabel 3.7 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	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 3.8 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

### 3.1.6 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

#### 1. Geser Dasar Seismik

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

$$V = C_s W \quad (3-6)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-7)$$

Keterangan:

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

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan Persamaan (3-7) tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-8)$$

$C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-9)$$

Keterangan:

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

$T$  = perioda fundamental struktur (detik)

$S_1$  = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

## 2. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Distribusi gempa lateral ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx}V \quad (3-10)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-11)$$

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  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

- untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k=1$
- untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih,  $k=2$
- untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

### 3. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-12)$$

Keterangan :

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul di Tingkat  $i$ , dinyatakan dalam kilonewton (kN).

### 3.2 Analisis Pembebanan

Beban yang akan ditinjau dan dihitung dalam perancangan gedung ini disesuaikan dengan kombinasi kuat perlu (Arfiadi, 2013) seperti di bawah ini:

#### 1. Kekuatan perlu

a.  $1,4 D$  (3-13)

b.  $1,2 D + 1,6 L$  (3-14)

c.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$  (3-15)

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

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

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

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

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

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

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

k.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$  (3-23)

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

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

n.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$  (3-26)

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

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

$$q. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-29)$$

$$r. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-30)$$

## 2. Kuat rencana

Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari SNI 2847-2013, pasal 9.3, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) ditentukan sebagai berikut ini:

1. Penampang terkendali tarik ..... 0,90
2. Penampang terkendali tekan ..... 0,65
3. Geser dan torsi ..... 0,75
4. Tumpuan pada beton kecuali daerah angkur pasca tarik ..... 0,65
5. Daerah angkur pasca tarik ..... 0,85
6. Model strat dan pengikat ..... 0,75
7. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik:
  - a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer ..... 0,75
  - b. Dari panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ..... 0,75-0,9

### 3.3 Kontrol Defleksi

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

1. Untuk  $a_{fm}$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 ketebalan pelat minimum harus memenuhi:
  - a. Pelat tanpa penebalan : 125 mm
  - b. Pelat dengan penebalan : 100 mm
2. Untuk  $a_{fm}$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-31)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

3. Untuk  $a_{fm}$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-32)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

untuk ketiga syarat di atas:

$a$  = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dengan panel-panel yang bersebelahan, bila ada pada tiap sisi baloknya.

$a_{fm}$  = nilai rata-rata  $a$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

Pemilihan tipe pelat diperoleh dari perbandingan bentang panjang ( $l_y$ ) dengan bentang pendek ( $l_x$ ) dengan syarat sebagai berikut ini:

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2, \text{ berarti tipe pelat dua arah} \quad (3-33)$$

$$\frac{l_y}{l_x} > 2, \text{ merupakan tipe pelat satu arah} \quad (3-34)$$

### 3.4 Beban Lentur dan Aksial

#### 3.4.1 Prinsip dan Persyaratan Umum

Desain beban aksial  $\phi P_n$  dari komponen struktur tekan tidak boleh lebih besar dari  $\phi P_{n,max}$ , yang dihitung dengan persamaan (3-35) atau (3-36).

Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral:

$$\phi P_{n,max} = 0,85\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-35)$$

Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat:

$$\phi P_{n,max} = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-36)$$

Untuk komponen struktur prategang, kekuatan aksial desain,  $\phi P_n$ , tidak boleh diambil lebih besar dari 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,80 (untuk komponen struktur dengan tulangan pengikat) dari kekuatan aksial desain pada eksentrisitas nol  $\phi P_o$ .

#### 3.4.2 Tulangan minimum pada komponen struktur lentur

Pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan oleh analisis,  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan:

$$A_{s,\min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-37)$$

Dan tidak lebih kecil dari  $1,4b_w d/f_y$

### **3.5 Komponen Struktur Lentur Rangka Pemikul Momen Khusus**

Komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan diproporsikan terutama untuk menahan lentur harus memenuhi kondisi-kondisi:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur,  $P_u$ , tidak boleh melebihi  $A_g f'_c / 10$
2. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$ , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen,  $b_w$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0,3h$  dan 250 mm.
4. Lebar komponen struktur,  $b_w$ , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu,  $c_2$ , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):
  - (a) Lebar komponen struktur penumpu,  $c_2$ , dan
  - (b) 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu,  $c_1$ .

### **3.6 Tulangan Longitudinal**

Pada sebarang penampang komponen struktur lentur, untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari persamaan (3-37) tetapi

tidak kurang dari  $1,4b_w d/f_y$ , dan rasio tulangan  $\rho$ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

### **3.7 Tulangan Transversal**

Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:

- a. Sepanjang dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;
- b. Sepanjang dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.

Sengkang tertutup 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.

### **3.8 Persyaratan Kekuatan Geser**

Tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- (a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut;
- (b) Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$ .

### **3.9 Komponen Struktur Rangka Momen Khusus yang dikenai Beban Lentur dan Aksial**

Persyaratan untuk komponen struktur rangka momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial harus memenuhi kondisi-kondisi:

1. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
2. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

#### **3.9.1 Tulangan memanjang**

Luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,06A_g$ .

#### **3.9.2 Tulangan transversal**

Tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_o$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari (a), (b), dan (c):

- (a) Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi;

- (b) Seperenam bentang bersih komponen struktur; dan
- (c) 450 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c):

- (a) Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- (b) Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- (c)  $s_o$ , seperti didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3-38)$$

Nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.