

BAB III LANDASAN TEORI

A. Pembebanan

1. *Super Imposed Dead Load* (SIDL)

Beban mati adalah beban dengan besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat. Beban ini terdiri dari berat sendiri struktur dan beban lain yang melekat pada struktur secara permanen. Beban yang termasuk dalam beban mati adalah berat rangka, dinding, lantai, atap, plumbing, dll. Jenis beban mati terdapat pada SNI 03-1727-1989 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

Tabel 3.1 Jenis pembebanan pada struktur portal.

No.	Komponen	Berat	Satuan
1	Beton Bertulang	2400	kg/m ³
2	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	kg/m ²
3	Adukan Semen atau Spesi	21	kg/m ²
4	Eternit / Plafon	11	kg/m ²
5	Penggantung Langit-Langit	7	kg/m ²
6	Keramik	1700	kg/m ²
7	Ducting AC dan Penerangan	30,6	kg/m ²
8	Waterproof per cm	14	kg/m ²
9	Dinding Hebel	650	kg/m ³
10	Finishing Lantai (Tegel)	2200	kg/m ³
11	Instalasi Plumbing (ME)	25	kg/m
12	Beban Dinding	250	kg/m ²

(Sumber : SNI – 1727,2013)

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi. Analisis beban hidup diberi faktor reduksi sesuai SNI 03-1726-2002 karena beban ini memberi beban yang bersifat sementara pada suatu struktur. Beban hidup pada

bangunan dikategorikan sesuai dengan fungsi ruangnya. Dari fungsi ruangan, diambil berat per satuan luas.

Tabel 3.2 Jenis Beban Hidup.

No.	Jenis Beban Hidup	Berat	Satuan
1	Atap	100	kg/m ²
2	Tangga	300	kg/m ²
3	Lantai	250	kg/m ²

(Sumber : SNI – 1727,2013)

Reduksi beban berdasarkan SNI 03-1726-2002 :

Terhadap beban gempa 0,5

3. Pembebanan Struktur Atap

- Beban Mati

$$G = \text{berat genteng} \times (L) \quad (3.1)$$

Dengan :

$$\text{Berat genteng} = 50 \text{ kg/m}^2$$

G : Beban mati gording

L : Total panjang gording

- Beban Hidup

Beban Hidup Pekerja

Beban hidup pekerja diasumsikan menjadi titik yang terpusat setengah bentang = 100 kg/titik

Beban Hujan

$$W_1 = (40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2 \quad (3.2)$$

Dengan :

$$\alpha = \text{Sudut atap } (^\circ)$$

B. Analisis Respon Spektrum

1. Menentukan faktor keutamaan dan kategori risiko, I_e

Tabel 3.3 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa .

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 1 Hal 15)

Penentuan kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat di Tabel 3.3 yang bersumber SNI 1726:2012. Pembagian kategori didasarkan fungsi dari bangunan. Sedangkan untuk penentuan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada 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

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 2 Hal 15)

2. Koefisien Modifikasi Respon, R^a

Koefisien modifikasi reson ditentukan berdasarkan sistem penahan-gaya seismiknya. Koefisien ini dapat ditntukan berdasarkan Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Bagian tabel faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa.

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^e				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F ^e
24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26.Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C.Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 9 Hal 36)

Dengan :

- R mereduksi gaya sampai tingkat kekuatan, bukan tingkat tegangan ijin.
- Faktor modifikasi respons, R , untuk penggunaan pada keseluruhan tata cara.
- TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan.
- Untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.
- Untuk sistem penahan gaya gempa yang dibatas sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

- Rangka pemikul momen biasa diijinkan untuk digunakan sebagai pengganti rangka pemikul momen menengah untuk kategori desain seismik B atau C.
- Harga tabelfaktor kuat-lebih, Ω_0 , diijinkan untuk direduksi dengan mengurangi setengah untuk
- Struktur dengan diafragma fleksibel, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 2,0 untuk segala struktur, kecuali untuk sistim kolom kantilever.

3. Parameter Percepatan Respon Spektra

Koefisien situs (F_a dan F_v) dapat ditentukan dari Tabel 3.8 dan 3.9 sesuai pada SNI-1726:2012. Respons spektra desain dapat dibuat dengan menghitung nilai parameter respon spektra (S_a , S_{SDS} , S_{D1} , T_0 , T_s)

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.3)$$

Keterangan:

- h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur,
- C_t dan x adalah parameter yang ditentukan pada tabel 3.7 sesuai dalam SNI 1726:2012 dengan melihat dari tipe strukturnya.

Tabel 3.6 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung.

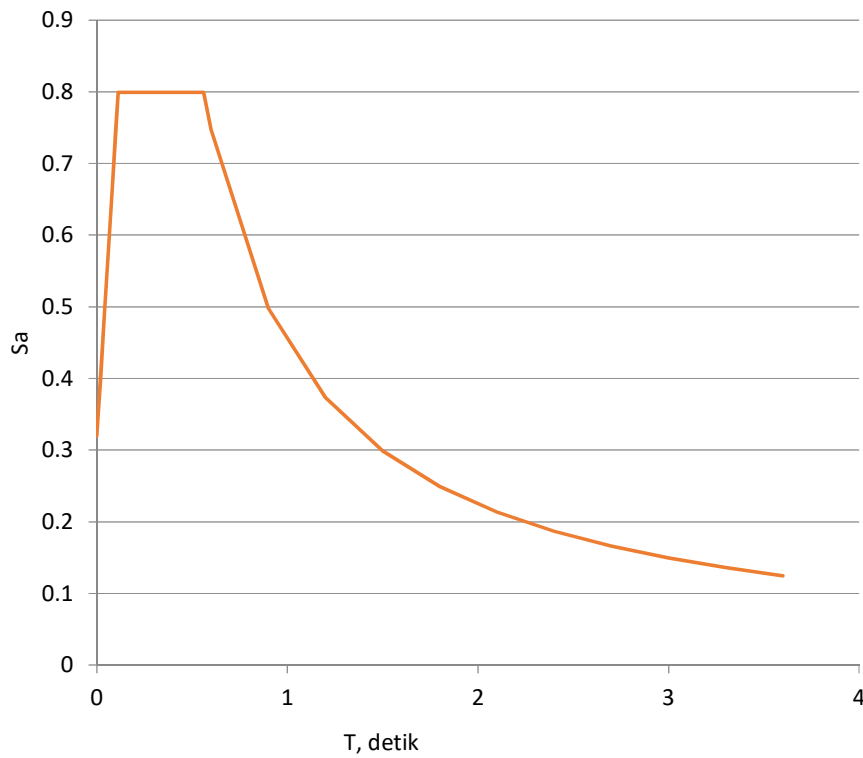
Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 14 Hal 57)

Tabel 3.7 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x .

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0.0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0.0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488 ^a	0,75

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 15 Hal 57)



Gambar 3.1 Respon spektra desain (Yogyakarta, Tanah sedang).

4. Koefisien-Kofisien Pada Situs

Tabel 3.8 Koefisien Situs, F_a .

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

(Sumber : SNI-1726:2012 Tabel 4 halaman 22)

Keterangan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.9 Koefisien Situs, F_v .

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

(Sumber : SNI-1726:2012 Tabel 5 halaman 22)

Keterangan :

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

C. Analisis Statik Ekuivalen

1. Geser Dasar Seismik, V

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

$$V = C_s \cdot W \quad (3.4)$$

Dimana:

V : geser dasar seismik,

C_s : koefisien respons seismik ,

W : berat seismik efektif.

Beban geser pada nominal (V) tersebut harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban gempa nominal statik ekuivalen (F_x) pada pusat massa tiap lantai dengan persamaan :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.5)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.6)$$

Dimana:

C_{vx} : faktor distribusi vertical,

V : gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur,

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 terkait periode.

Untuk T sebesar 0.5s maka $k = 1$.

Untuk T sebesar 2.5s maka $k = 2$.

Untuk T antara 0.5–2.5s $k = 2$ atau interpolasi antara 1 & 2.

a. Koefisien Respons Seismik, C_s

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.7. Sedangkan nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 3.7 tidak perlu melebihi persamaan 3.8. Dan nilai C_s tidak boleh kurang dari persamaan 3.8.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.7)$$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.8)$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.9)$$

Dengan :

S_{DS} : parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek,

R : faktor modifikasi respons dalam Tabel 3.5,

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 3.4,

C_s : koefisien respons seismik.

D. Analisis Time History

1. Koefisien Situs

Tahap awal dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui dimana letak bangunan berada berdasarkan koordinat global. Koordinat global letak bangunan digunakan untuk menentukan PGA dan penentuan nilai koefisien situs F_{PGA} dengan menggunakan *website puslitbang*. Dasar dari *website puslitbang* adalah SNI 1726:2012 yang dapat dilihat pada Tabel 3.10 untuk percepatan tanah puncak dan disesuaikan dengan pengarus klasifikasi situs (PGA_M) dihitung dengan persamaan 3.10.

Tabel 3.11 Koefisien Situs F_{PGA} .

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA $\geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat 6.9				

(Sumber : 1726:2016 Tabel 8 Hal 28)

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \quad (3.10)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \quad (3.11)$$

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.12)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.13)$$

Dengan :

S_{DS} : parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek,

S_{D1} : parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik,

T : perioda getar fundamental struktur.

Berikut persamaan untuk kondisi dimana $T > T_0$:

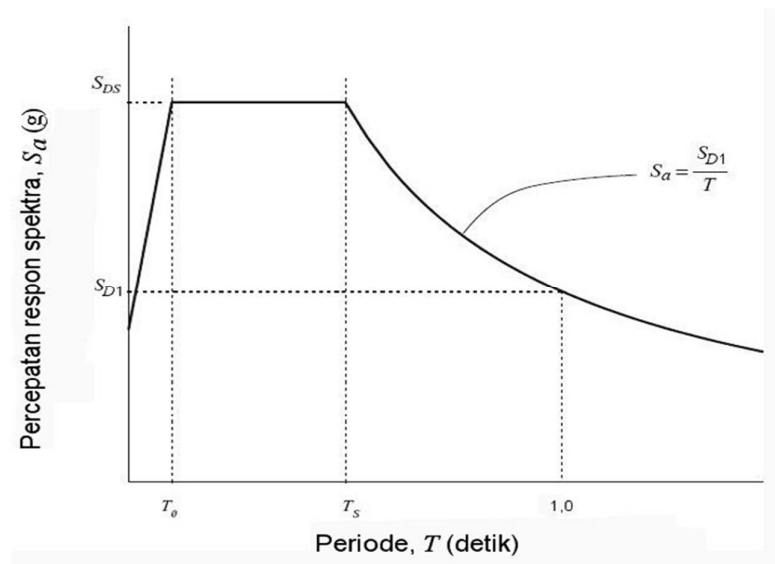
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.14)$$

Persamaan untuk kondisi dimana $T_0 \leq T \leq T_s$:

$$S_a = S_{DS} \quad (3.15)$$

Berikut persamaan untuk kondisi dimana $T < T_0$:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.16)$$



Gambar 3.2 Spektrum respons desain.
(Sumber : SNI 1726:2012)

Tabel 3.12 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
0,1	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI-1726:2012 Tabel 14 hal 56)

Tabel 3.13 Nilai parameter perioda 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 baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 15 Hal 56)

Tabel 3.14 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 : SNI 1726:2012 Tabel 6 Hal 24)

2. Percepatan Gempa Rencana

Parameter yang menjadi acuan untuk analisis ini adalah nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*).

$$PGA_M = F_{PGA} PGA \quad (3.17)$$

Dengan :

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs,

PGA = percepatan tanah puncak terpetakan,

F_{PGA} = koefisien situs.

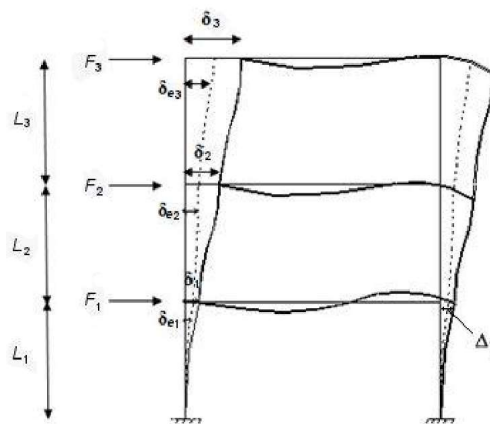
E. Evaluasi Batas Kinerja Struktur

Simpangan antar lantai tingkat desain, tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin seperti didapatkan dari Tabel 3.15 untuk semua tingkat.

Tabel 3.15 Batas simpangan antar lantai tingkat.

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

(Sumber : SNI 1726:2012 Tabel 16 hal 66)



Gambar 3.3 Penentuan simpangan antar lateral.

(Sumber : SNI 1726:2012)

Tingkat 2

F_2 : gaya gempa desain tingkat kekuatan,

δ_{e2} : perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan.

$$\delta_2 = C_d \delta_{e2}/I_E \quad (3.18)$$

δ_2 : Perpindahan yang diperbesar.

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1})C_d/I_E \leq \Delta_\alpha \quad (3.19)$$

Tingkat 1

F_1 : gaya gempa desain tingkat kekuatan,

δ_{e1} : perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan.

$$\delta_1 = C_d \delta_{e1}/I_E \quad (3.20)$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_\alpha \quad (3.21)$$

Δ_I : Simpangan antar lantai.

$$\text{Rasio simpangan antar lantai} = \Delta_i/L_i \quad (3.22)$$

δ_3 : Perpindahan total.