

## **BAB III LANDASAN TEORI**

### **3.1 Struktur Utama Bangunan**

Struktur utama bangunan adalah struktur utama yang secara keseluruhan bekerja secara bersama-sama menahan/meneruskan beban baik akibat beban gravitasi maupun beban gempa ke dalam tanah melalui suatu sistem pondasi. Struktur utama yang dimaksud antara lain seperti berikut ini.

1. Portal Terbuka (*Open Frame*)
2. Portal dengan *Bresing*
3. Struktur dinding
4. *Walled-Frame*
5. Diaphragma/Lantai penghubung

Portal terbuka atau *open frame* artinya *frame* murni tanpa adanya elemen dinding pengisi. Kekuatan struktur dihitung berdasarkan interaksi antara kekakuan balok, kolom dan *joint*.

### **3.2 Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan**

Struktur bangunan gedung dibagi menjadi 2 macam yaitu beraturan dan tidak beraturan. Dalam SNI 03-1726-2012 pasal 7.3.2 klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horisontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

#### **3.2.1 Ketidakberaturan Horisontal**

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang disajikan pada Tabel 3.1 dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur horisontal. Struktur-struktur tersebut juga dirancang untuk kategori desain sebagaimana yang terdapat pada Tabel 3.1 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang terdapat dalam tabel.

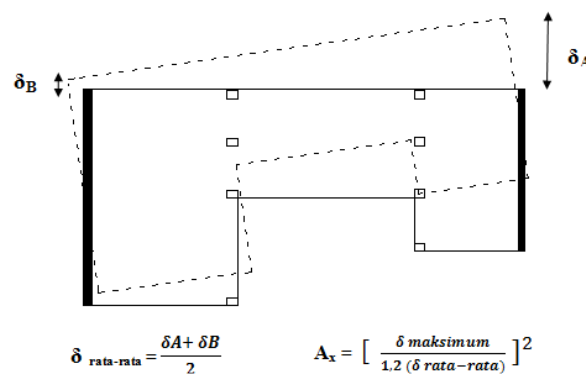
Tabel 3.1 Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel13 12.2.2	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber : SNI 03-1726-2012

Bangunan dengan ketidakberaturan horisontal dapat ditemui pada bangunan-bangunan yang kompleks misalnya denah bangunan yang menyerupai huruf L, T, I, Z, H ataupun kombinasi bangunan ireguler. Dimana ketidakberaturan struktur horisontal yang akan ditinjau yaitu seperti berikut.

1. Ketidakberaturan Torsional 1a) dan 1b)

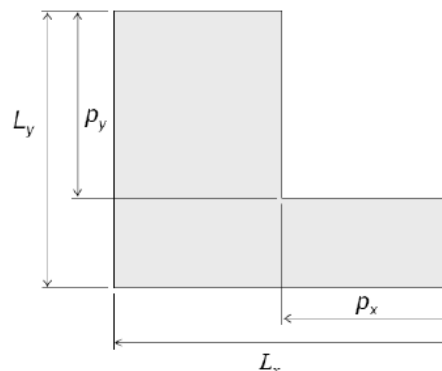


Gambar 3.1 Ketidakberaturan Torsional 1a) dan 1b)

- $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$        $\longrightarrow$  Tanpa Ketidakberaturan torsi  
 $1,2 \delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}}$   $\longrightarrow$  Ketidakberaturan torsi 1a)  
 $\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$        $\longrightarrow$  Ketidakberaturan torsi 1b)

## 2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Berikut ini disajikan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Ketidakberaturan Sudut Dalam**

Ketidakberaturan ini ada bila  $p_y > 0.15L_y$  dan  $p_x > 0.15L_x$ .

## 3.3 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa atau *earthquake resistant building* adalah bangunan yang relatif kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya relatif tidak mahal. Bangunan-bangunan gedung mempunyai faktor keutamaan yang bergantung pada penting atau tidaknya suatu bangunan. Bangunan yang penting misalnya diharapkan dapat bertahan dalam waktu yang lebih lama dibanding dengan bangunan biasa. Hal ini berarti bahwa penting tidaknya bangunan berhubungan dengan beban rencana bangunan yang berlanjut pada periode ulang. Semakin penting bangunan maka semakin lama bangunan itu harus bertahan, sehingga gaya gempa yang diperhitungkan pada bangunan tersebut semakin besar. Dalam desain bangunan gedung tahan gempa perlu diperhatikan mengenai :

1. *Code* beban gravitasi,
2. *code* beban gempa (RSNI 03-1726-2012) dan
3. *code* desain (SNI 03-2847, 2002).

Proses desain pada umumnya memperhatikan data dan langkah-langkah :

1. peruntukan, letak, denah dan tinggi bangunan,
2. jenis tanah, jenis struktur utama (*frames*, *walls* dan kombinasi),
3. berdasarkan lokasi bangunan kemudian ditentukan respons spektrum percepatan dan respons spektrum desain,
4. kategori desain *seismic*, penahan gaya horisontal, SRPMB/M/K, faktor reduksi beban R,
5. ditentukan kategori bangunan, apakah masih reguler atau bangunan tidak reguler,
6. butir 5 akan menentukan jenis analisis struktur, apakah masih dapat dilakukan dengan beban ekuivalen statik ataupun analisis dengan metode lain.

### 3.4 Pembebanan Struktur

Dalam melakukan analisa desain struktur bangunan, hal yang perlu diperhatikan yaitu membedakan/memisahkan antara beban statis dan dinamis.

#### 1. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja terus-menerus pada struktur. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 seperti berikut ini.

##### a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan atau peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

##### b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang tidak tetap, namun juga diperhitungkan dalam pembebanan gedung.

#### 2. Beban Dinamik

Beban dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis terdiri dari beban gempa dan angin.

##### a. Beban Gempa

Gempa bumi adalah peristiwa yang terjadi karena adanya kerusakan kerak bumi secara tiba-tiba umumnya diikuti dengan terjadinya patahan. Perhitungan penentuan beban gempa sebagai berikut.

- 1) Menentukan nilai  $S_S$  dan  $S_1$ .
- 2) Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan bangunan.
- 3) Menentukan kategori desain seismik.
- 4) Menentukan metode analisis beban gempa.
- 5) Menghitung gaya lateral.

b. Beban Angin

Beban angin bersifat non periodik dan non harmonik. Kecepatan dan intensitas angin dapat berfluktuasi secara acak baik arah horisontal maupun vertikal. Pengaruh beban angin pada struktur yang pendek dan kaku umumnya kurang signifikan. Namun akan sangat signifikan dan bahkan sangat membahayakan pada struktur yang fleksibel seperti bangunan tinggi, jembatan yang panjang.

### 3.5 Metode Analisis Struktur Akibat Gempa

Dalam metode analisis struktur akibat gempa terdapat beberapa macam, metode tersebut digunakan berdasarkan tipe bangunannya. Pada penelitian ini akan dicoba dengan menggunakan sebuah denah bangunan rumah sakit yang dianalisis dengan metode-metode analisis seperti berikut ini.

#### 3.5.1. Metode Analisis Statik Ekuivalen

Metode statik ekuivalen sering disebut sebagai analisa manual, dimana perhitungan gempanya dilakukan secara manual karena menggunakan rumus baku yang telah ada pada peraturan gempa. Biasanya digunakan pada bangunan dengan tipe beraturan. Namun pada penelitian ini akan dicoba dengan menggunakan tipe bangunan tidak beraturan untuk menghasilkan perbandingan yang diinginkan.

Adapun langkah-langkah dalam menganalisis sebagai berikut ini.

### 1. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan Tabel 3.2 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.2 Kategori Risiko Struktur Bangunan**

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, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang 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> <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, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

**Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Struktur Bangunan**

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"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</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 rumah 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

**Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa**

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

### 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 diklasifikasi terlebih dahulu. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Kelas Situs**

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{\varepsilon}_s$ (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

### 2. Parameter Percepatan Gempa

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) ditentukan dengan rumus pada persamaan 3.1 dan 3.2.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.1)$$

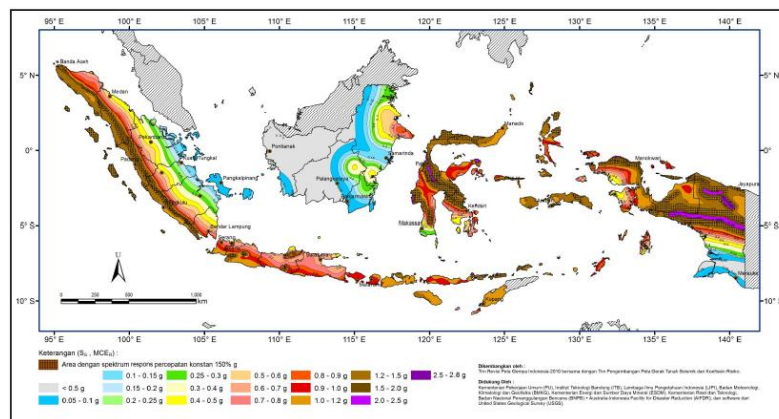
$$S_{M1} = F_v S_1 \tag{3.2}$$

dengan :

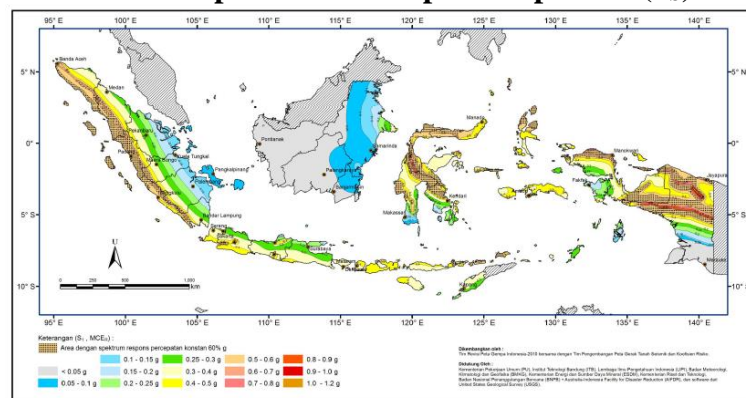
$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik.

Berikut ini dapat dilihat parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek ( $S_s$ ) dan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3 Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek ( $S_s$ )**



**Gambar 3.4 Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik**

Koefisien situs getaran periode pendek  $F_a$  dan getaran periode 1 detik  $F_v$  dapat ditentukan dengan Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

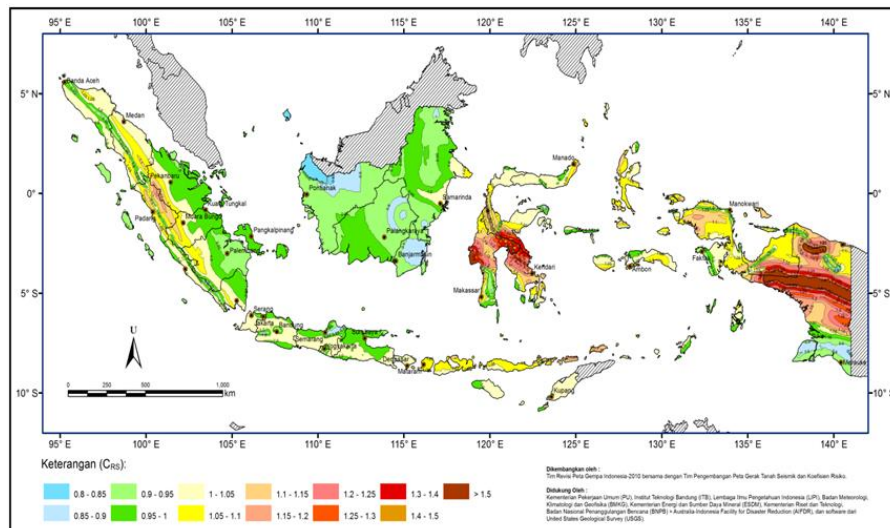


**Tabel 3.5 Koefisien Situs  $F_a$**

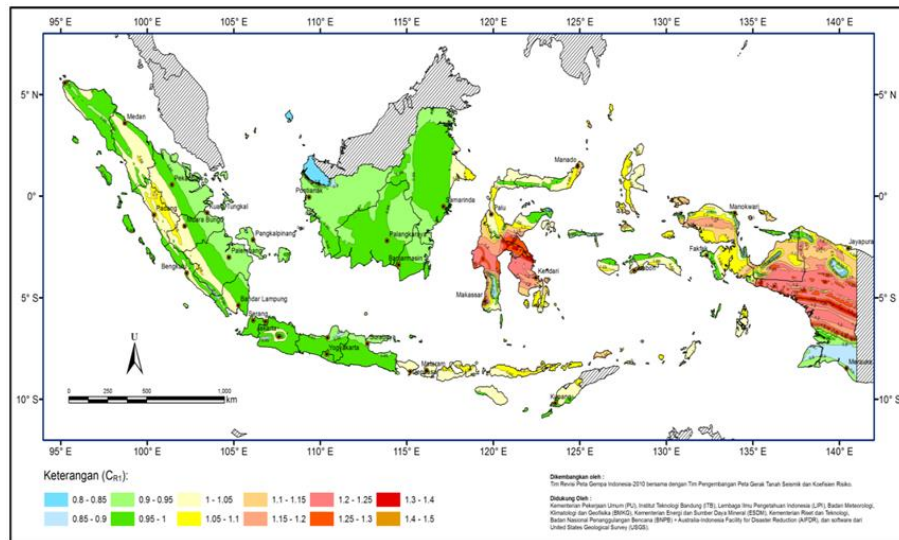
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_i$				
	$S_i \leq 0,25$	$S_i = 0,5$	$S_i = 0,75$	$S_i = 1,0$	$S_i \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2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

**Tabel 3.6 Koefisien Situs  $F_v$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $S_i$				
	$S_i \leq 0,1$	$S_i = 0,5$	$S_i = 0,75$	$S_i = 1,0$	$S_i \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				



**Gambar 3.5 Koefisien  $C_{rs}$  (untuk periode pendek 0,2 dt)**



**Gambar 3.6 Koefisien  $C_{r1}$  (untuk periode panjang, 1 dt)**

### 3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{DS}$ , periode 1 detik  $S_{DI}$ ,  $S_{DSr}$  dan  $S_{DIr}$  ditentukan melalui rumus berikut ini.

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = 2/3 \cdot S_{MI} \quad (3.4)$$

$$S_{DSr} = S_{DS} \cdot C_{rs} \quad (3.5)$$

$$S_{DIr} = S_{DI} \cdot C_{r1} \quad (3.6)$$

dengan :

$S_{DS}$  = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

$S_{DI}$  = percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

$S_{DSr}$  = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

$S_{DIr}$  = percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

### 4. Spekturm Respons Desain

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 T/T_0) \quad (3.7)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3.8)$$

dengan :

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

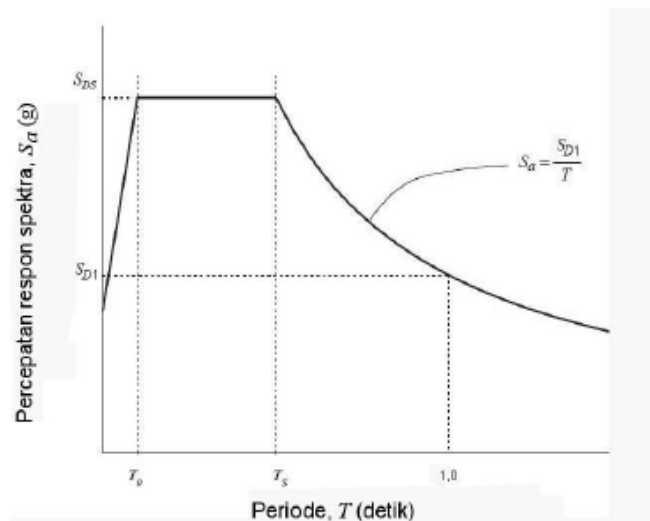
$SD1$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (3.9)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (3.10)$$

Grafik spektrum respons dinamin dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Spektrum Respons Desain**

## 5. Kategori Desain Seismik

Semua struktur bangunan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori resiko bangunan serta nilai  $SDS$  dan  $SD1$ , sesuai Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

**Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	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
$0,50 < S_{DS}$	D	D

**Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik**

Nilai $S_{DI}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{DI}$	D	D

#### 6. Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diijinkan. Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan beban lateral dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9 Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan beban lateral**

Sistem penahan beban lateral		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Kategori desain seismik					
					A	B	C	D	E	F
Sistem rangka gedung	Dinding geser beton biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TB	X	X	X
	Dinding geser beton khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	18	18	30
Sistem rangka pemikul momen	Sistem rangka pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TB	X	X	X	X
	Sistem rangka pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TB	X	X	X
	Sistem rangka pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	TB

**Lanjutan Tabel 3.9 Faktor R, C<sub>d</sub> dan Ω<sub>0</sub> untuk sistem penahan beban lateral**

Sistem penahan beban lateral		R	C <sub>d</sub>	Ω <sub>0</sub>	Kategori desain seismik					
					A	B	C	D	E	F
Dinding penumpu	Dinding geser beton biasa	4	2,5	4	TB	TB	TB	X	X	X
	Dinding geser beton khusus	5	2,5	5	TB	TB	TB	48	48	30

#### 7. Faktor Redundansi

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

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau.
- b. Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, untuk konstruksi rangka ringan.

#### 8. Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa

Komponen-elemen struktur harus dirancang sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(L<sub>r</sub> atau R)
3. 1,2D + 1,6(L<sub>r</sub> atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L<sub>r</sub> atau R)
5. 1,2D + 1,0 E + L
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Pengaruh beban gempa, E pada kombinasi pembebanan harus ditentukan sebagai berikut.

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi 5, E harus ditentukan sesuai persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.1)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi 7, E harus ditentukan sesuai persamaan berikut.

$$E = E_h - E_v \quad (3.2)$$

Keterangan:

E = pengaruh beban gempa

$E_h$  = pengaruh beban gempa horisontal

$E_v$  = pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horisontal,  $E_h$ , harus ditentukan sesuai persamaan berikut.

$$E_h = \rho QE \quad (3.3)$$

Keterangan:

QE = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau  $F_p$

$\rho$  = faktor redundansi

Pengaruh beban gempa vertikal,  $E_v$  harus ditentukan sesuai persamaan berikut.

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (3.4)$$

Keterangan:

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

D = pengaruh beban mati.

Kombinasi dasar untuk desain kekuatan

1.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + \rho QE + L$
2.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho QE + 1,6 H$

Dalam perencanaan struktur, beban-beban yang diterima struktur harus diperhitungkan agar bangunan kuat menerima kombinasi pembebanan yang ada. Dalam perencanaan dicari kombinasi pembebanan

yang paling kritis untuk menentukan kuat perlu. Adapun kuat perlu yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$1. U = 1,4D \quad (3.5)$$

$$2. U = 1,2D + 1,6L \quad (3.6)$$

$$3. U = (1,2 + 0,2SDS)D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L \quad (3.7)$$

$$4. U = (1,2 + 0,2SDS)D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L \quad (3.8)$$

$$5. U = (1,2 + 0,2SDS)D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L \quad (3.9)$$

$$6. U = (1,2 + 0,2SDS)D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L \quad (3.10)$$

$$7. U = (1,2 + 0,2SDS)D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L \quad (3.11)$$

$$8. U = (1,2 + 0,2SDS)D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L \quad (3.12)$$

$$9. U = (1,2 + 0,2SDS)D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L \quad (3.13)$$

$$10. U = (1,2 + 0,2SDS)D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L \quad (3.14)$$

$$11. U = (0,9 - 0,2SDS)D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3.15)$$

$$12. U = (0,9 - 0,2SDS)D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3.16)$$

$$13. U = (0,9 - 0,2SDS)D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3.17)$$

$$14. U = (0,9 - 0,2SDS)D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3.18)$$

$$15. U = (0,9 - 0,2SDS)D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3.19)$$

$$16. U = (0,9 - 0,2SDS)D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3.20)$$

$$17. U = (0,9 - 0,2SDS)D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3.21)$$

$$18. U = (0,9 - 0,2SDS)D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3.22)$$

Keterangan :

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

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

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

$\rho$  = faktor reduksi,

$E$  = beban gempa,

$E_x$  = pengaruh beban gempa horizontal, dan

$E_y$  = pengaruh beban gempa vertikal

### 9. Geser Dasar Seismik

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

$$V = C_S W \quad (3.11)$$

keterangan :

$C_S$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik  $C_S$  ditentukan dengan persamaan

$$C_S = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.12)$$

keterangan :

$SDS$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa.

Nilai  $C_S$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak perlu melebihi berikut ini.

$$C_S = \frac{SDS}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

$C_S$  harus tidak kurang dari :

$$C_S = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.14)$$

### 10. Periode Fundamental

Periode fundamental struktur  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada periode yang dihitung  $C_u$  pada Tabel 3.11 dan periode fundamental pendekatan  $T_a$  yang dihitung dari persamaan berikut.

$$T_a = C_S h n^x \quad (3.15)$$



keterangan:

hn= ketinggian struktur (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan koefisien Ct dan x ditentukan dari Tabel 3.11.

**Tabel 3.10 Koefisien Batas Atas pada Periode Cu**

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

**Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct 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	0,0488 <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

Selanjutnya dalam menghitung periode getar alami dapat menggunakan rumus pada persamaan diatas dapat juga menggunakan analisis SAP. Apabila periode getar dihitung menggunakan analisis SAP, maka harus digunakan batasan perioda struktur pada Tabel 3.9, dimana batasan ini hanya berlaku jika T dihitung dari analisis komputer yang “*substantiated*”.

Adapun syarat untuk menentukan nilai T yang akan digunakan yaitu.

- Jika  $T_c > C_u T_a$ , digunakan  $T = C_u T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$ , digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$ , digunakan  $T = T_a$

#### 11. Distribusi Horisontal Gaya Gempa

Adapun gaya gempa yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dengan persamaan :

$$F_i = C_{vx} \times V \quad (3.16)$$

$$C_{vx} = W_x \times h_x^k / \sum W_x \times h_x^k \quad (3.17)$$

keterangan :

$F_i$  = gaya horizontal gempa;

$C_{vx}$  adalah faktor distribusi vertikal;

$V$  adalah gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN);

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

$h_x$  = tinggi (m) dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ ;

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sbb:

untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  dt ,  $k = 1$

untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  dt ,  $k = 2$

untuk struktur dengan nilai  $0,5 < T < 2,5$  ,  $k = 2$  atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Geser tingkat desain gempa disemua tingkat  $V_x$  harus ditentukan dari persamaan berikut ini.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.18)$$

keterangan :

$F_i$  = bagian dari geser seismik  $V$  yang timbul di tingkat  $i$ .

### 3.5.2 Metode Respons Spektrum

Respons spektrum adalah plot antara nilai-nilai maksimum percepatan, kecepatan maupun simpangan massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal akibat gempa lawan periode getarnya. Respons spektrum juga dapat dipakai pada struktur dengan derajat kebebasan banyak atau bangunan bertingkat banyak. Langkah-langkah respons spektrum dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

#### 1. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{DS}$ , dan periode 1 detik  $S_{D1}$  ditentukan melalui rumus berikut ini.

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} \quad (3.19)$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1} \quad (3.20)$$

keterangan :

$S_{DS}$  = percepatan spektral desain untuk periode pendek.

$S_{D1}$  = percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

## 2. Respons Spektrum Desain

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 T/T_0) \quad (3.21)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.22)$$

keterangan :

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

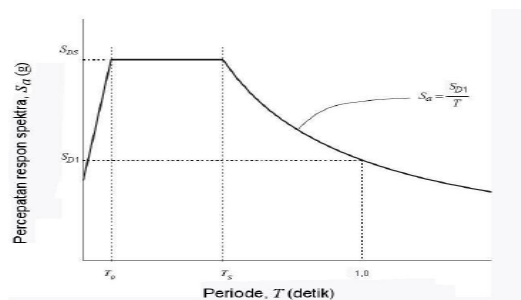
$S_{D1}$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.23)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.24)$$

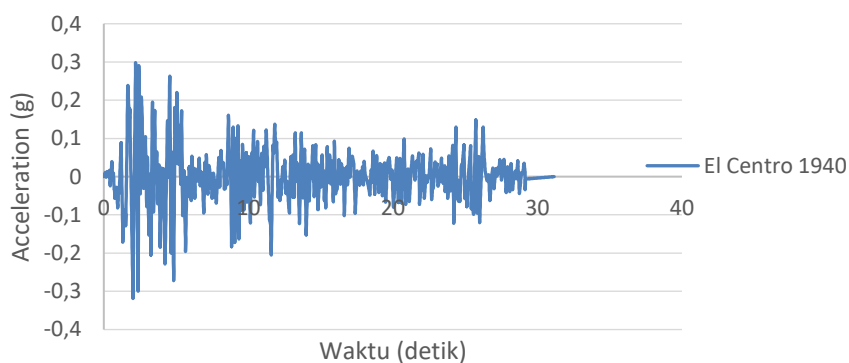
Grafik respons spektrum dinamik dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Respons Spektrum Desain**

### 3.5.3 Analisis Riwayat Waktu (*Time History*)

Analisis riwayat waktu (*time history*) merupakan analisis yang menggunakan rekaman gempa tertentu sebagai penggetar dasar struktur suatu bangunan. Menganalisis model struktur dengan rekaman gempa yang ada dengan bantuan program SAP 2000. Data yang dibutuhkan dalam analisis riwayat waktu adalah akselerogram gempa yang diangkakan sebagai gerakan tanah masukan. Akselerogram yang dipakai yaitu akselerogram gempa El Centro 1940 yang dinormalisasi sesuai respons spektrum lokasi bangunan. Berikut ini dapat dilihat akselerogram gempa El Centro 1940 pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Accelerogram gempa El Centro 1940

(Sumber : <http://www.vibrationdata.com/elcentro.htm>.)

### 3.6 Gaya Geser Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya geser dasar (*base shear*) yang didapatkan dari hasil analisa dinamik riwayat waktu minimum adalah sebesar 85% gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan dengan cara statik ekuivalen.

$$V_{\text{dinamik}} > 0,85 V_{\text{statik}} \quad (3.25)$$

Apabila gaya geser dasar hasil analisa dinamik riwayat waktu lebih kecil dari 85% gaya geser dasar statik ekuivalen, maka ordinat gaya geser dasar harus dikalikan dengan faktor skalanya.

$$F_s = \frac{0,85 V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \quad (3.26)$$

### 3.7 Respons Struktur

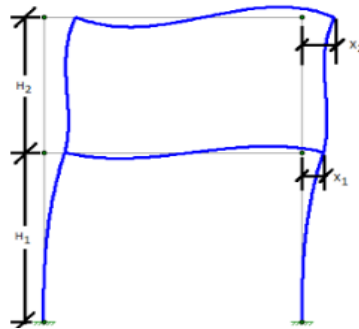
Respons struktur adalah tanggapan atau reaksi yang terjadi pada suatu bangunan terhadap gaya-gaya, salah satunya yaitu gaya gempa. Respons struktur akibat gempa sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan itu sendiri. Untuk mengetahui respons struktur akibat gempa, maka diperlukan analisis beban gempa yang dapat dilakukan dengan analisis statik ekuivalen, respons spektrum dan *time history*. Pada analisis *time history*, respons struktur diperoleh dengan menggunakan rekaman percepatan gempa El Centro 1940. Sedangkan analisis respons spektrum, respons struktur yang diperoleh bukan asli dari beban gempa tertentu, melainkan berdasarkan pada respons spektrum yang merupakan produk akhir dari beberapa gempa. Pada tugas akhir ini respons struktur yang ditinjau meliputi :

#### 3.7.1 *Displacement*

*Displacement* merupakan simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai. Selain itu, *displacement* juga merupakan salah satu parameter yang penting dalam perencanaan struktur bangunan. Perbandingan *displacement* dalam tugas akhir ini akibat beban gempa statik ekuivalen, respons spektrum dan *time history* yang akan diambil dalam beberapa titik pada tepi bangunan. Hasil dari perbandingan *displacement* dengan ketiga metode tersebut nantinya disajikan dalam bentuk Tabel dan Gambar.

#### 3.7.2 Rasio Simpangan Antar Lantai (*Drift Ratio*)

Rasio simpangan antar lantai tingkat desain (*drift ratio*) harus dihitung berdasarkan perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Namun, apabila pusat massa tidak terletak segaris arah vertikal maka diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat atasnya. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 3.1, rasio simpangan antar lantai desain (*drift ratio*) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang letaknya segaris vertikal dan di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Berikut ini disajikan Gambar untuk menentukan nilai *drift ratio*.



**Gambar 3.10 Drift Ratio**

$$\text{Drift ratio pada Lantai 1} = (\delta_1 C_d / I_e) / H \quad (3.27)$$

$$\text{Drift ratio pada Lantai 2} = ((\delta_2 - \delta_1) C_d / I_e) / H \quad (3.28)$$

keterangan :

$\delta_i$  = displacement pada lantai i, mm;

$C_d$  = faktor pembesaran;

$I_e$  = faktor keutamaan;

$H_i$  = tinggi lantai, mm.

### 3.7.3 Simpangan Antar Lantai Ijin ( $\Delta_a$ )

Berdasarkan pasal 7.12.1.1 nilai simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan dalam persamaan 3.29, nilainya tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) /  $\rho$  untuk semua tingkat.

$$\Delta_n = ((\delta_n - \delta_{n-1}) C_d) / I_e \quad (3.29)$$

Keterangan :

$\Delta_n$  = simpangan antar lantai ke n, mm

$\delta_n$  = displacement pada lantai n, mm

$C_d$  = faktor pembesaran;

$I_e$  = faktor keutamaan;

**Tabel 3.12 Simpangan antar lantai ijin**

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 $h_{sx}$	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>a</sup>	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 $h_{sx}$

$h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

### 3.8 Penentuan Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726 2012 pasal 7.8.7, pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar lantai yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas. Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot H_x \cdot C_d} \quad (3.27)$$

keterangan :

$P_x$  = beban desain vertical total pada dan di atas tingkat x, dinyatakan dalam kilo newton (kN); bila menghitung  $P_x$ , faktor individu tidak perlu melebihi 1,0;

$\Delta$  = simpangan antar lantai tingkat desain (mm);

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan;

$V_x$  = gaya geser siesmik yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN);

$H_x$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm);

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi.

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi ( $\theta_{max}$ ) yang ditentukan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,50}{\beta C_d} \leq 0,25 ; C_{dx} = 5,50 ; C_{dy} = 5,$$

keterangan :

$\beta$  adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk ingkat x dan x-1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Apabila nilai  $\theta$  melebihi  $\theta_{max}$ , maka struktur dianggap tidak stabil dan harus didesain ulang. Dan jika  $\theta < \theta_{min} = 0,10$ , maka pengaruh p- $\Delta$  boleh diabaikan.