

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

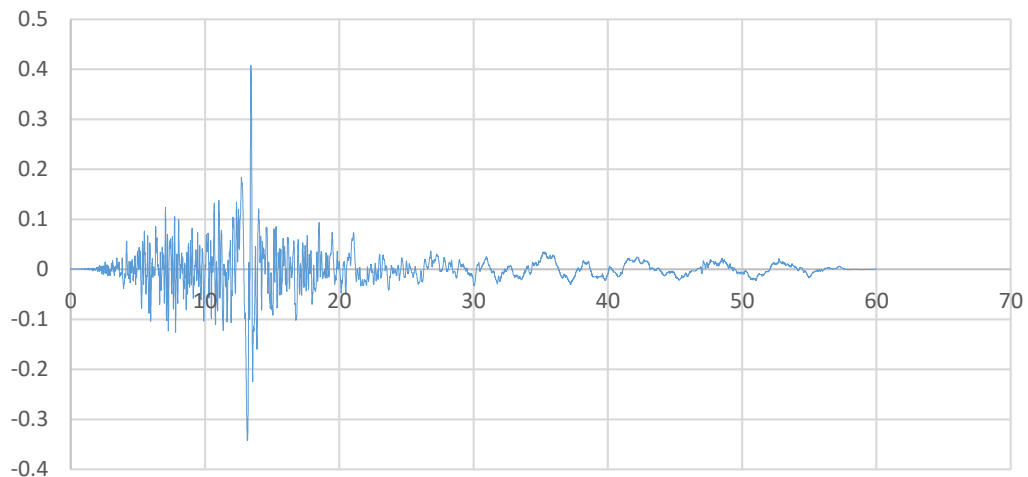
#### **A. Gempa Bumi**

##### **1. Pengertian**

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Terdapat dua jenis gempa yaitu gempa bumi tektonik dan gempa bumi vulkanik. Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan disebabkan oleh lempengan yang bergerak. Gempa ini terjadi karena besarnya tenaga yang dihasilkan akibat adanya tekanan antar lempeng batuan dalam perut bumi. Gempa vulkanik adalah gempa yang diakibatkan oleh pergerakan magma pada gunung berapi. Gempa ini sering terjadi ketika gunung berapi sedang aktif atau akan erupsi. Terjadinya gempa vulkanis ini karena adanya tekanan gas yang sangat besar pada sumbatan kawah sehingga menimbulkan getaran dan meletusnya gunung berapi. Gempa ini hanya dirasakan pada daerah sekitar kaki gunung berapi. Untuk bahannya lebih kecil dibandingkan gempa tektonik.

##### **2. Energi Gelombang Gempa**

Gelombang gempa (*seismic wave*) adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan di dalam kerak bumi, misalnya adanya patahan atau adanya ledakan. Energi ini akan merambat ke seluruh bagian bumi melalui sebuah media (padat atau cair). Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik dari gangguan alami seperti: pergerakan lempeng (tektonik), Bergeraknya patahan, aktivitas gunung api (vulkanik). Semua gelombang gempa dideteksi oleh pencatat gempa baik seismograph maupun *eccelerograph*. Data rekaman ini yang menjadi data primer dalam analisis *Time History*



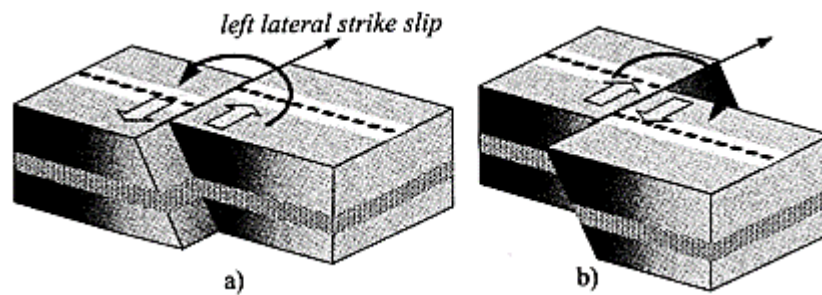
Gambar 3.1 Accelogram rekaman gempa

Sumber : *peer.berkeley.edu*

### 3. Macam *fault model*

#### a. *Stike Slip Faults*

Strike Slip adalah patahan yang mana massa batuan menggeser secara horizontal, patahan ini terjadi akibat dua lempeng tektonik atau dua massa batuan yang bergerak horizontal secara berlawanan.



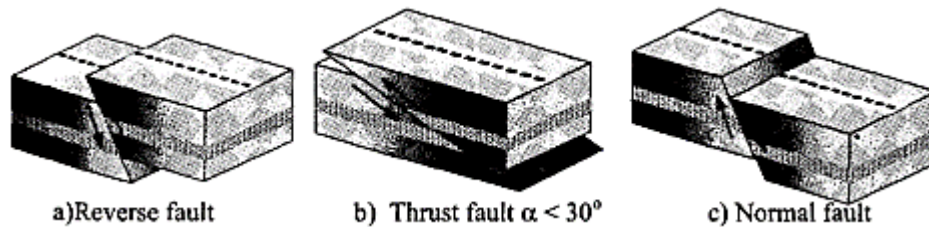
Gambar 3.2 *Lateral Strike-Slip* arah kanan dan kiri

Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Widodo. P (2012)*

#### 2) *Dip-Slip Fault*

Apabila *strike-slip*, slipnya massa batuan searah dengan *strike vector* (mendatar), maka pada *dip-slip*, slipnya massa batuan akan searah dengan *dip vector* (slip ke

atas/kebawah). *Slip* jenis ini dikategorikan menjadi dua hal pokok yaitu slip akibat gaya desak (*compression stress*) dan *slip* akibat gaya tarik (*tension stress*).

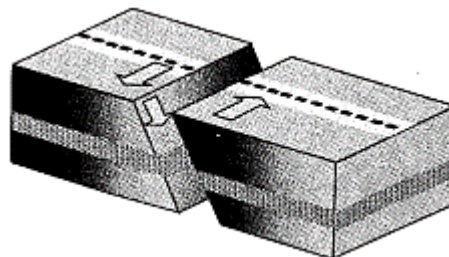


Gambar 3.3 *Reverse, Thrust dan Normal Fault*

Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Widodo. P (2012)*

### 3) *Dip-Strike Slip Fault*

*Fault* jenis ini merupakan kombinasi antara *strike-slip fault* dengan *dip-slip fault*. Patahan kombinasi ini umumnya disebut *oblique fault* (OF). Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa suatu *fault* kadang-kadang tidak murni satu jenis tetapi dapat kombinasi diantaranya.



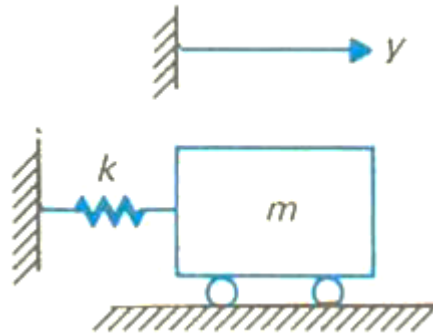
Gambar 3.4 *Dip-Strike Model*

Sumber : *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Widodo. P (2012)*

### **B. Degree of Freedom (DOF)**

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu system pada setiap saat. Pada masalah dinamika, setiap titik atau massa pada umumnya hanya diperhitungkan berpindah tempat dalam satu arah saja yaitu arah horizontal. Karena simpangan yang terjadi hanya terjadi dalam satu bidang atau dua dimensi, maka simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi atau ordinat tertentu baik bertanda negative ataupun bertanda positif. Pada kondisi dua dimensi tersebut, simpangan

suatu massa pada saat  $t$  dapat dinyatakan dalam koordinat tunggal yaitu  $Y(t)$ , struktur seperti itu dinamakan struktur dengan derajat kebebasan tunggal / SDOF (*Single Degree of Freedom*) system. Sistem massa yang berpindah dalam satu arah saja yaitu arah horizontal dinamakan sistem berderajat kebebasan tunggal (single degree of freedom, SDOF).



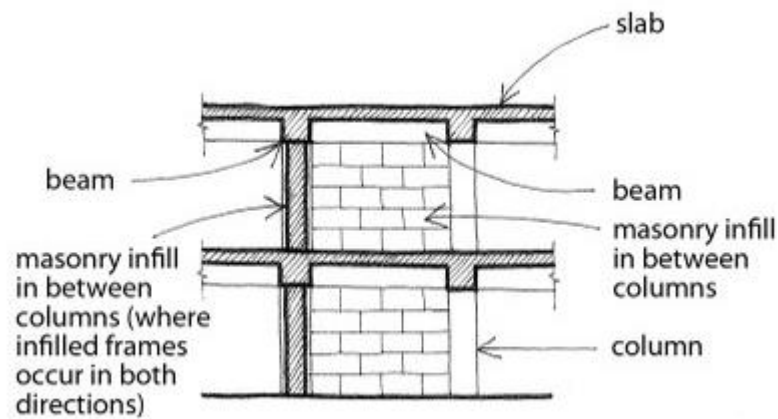
Gambar 3.5 Model Matematis SDOF

*Sumber : Dynamics of Structure, Mario Paz (1993)*

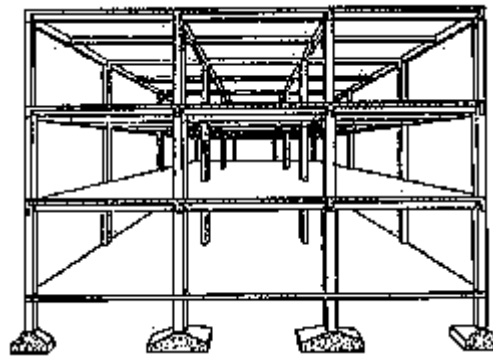
Pada sistem SDOF, struktur dimodelkan dengan massa tunggal dan koordinat perpindahan tunggal. Suatu struktur memiliki frekuensi natural sebanyak derajat kebebasan yang dimilikinya dan jika beban dinamik yang diterima struktur memiliki frekuensi yang mendekati frekuensi natural dari struktur maka akan terjadi resonansi yang akan mengakibatkan keruntuhan atau collapse pada struktur.

### C. Sistem Struktur

Ada dua sistem struktur yang dapat diterapkan yaitu sistem struktur rangka terbuka (*open frame*) dan system struktur rangka berdinding pengisi (*infilled frame*). *Open frame* adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka balok kolom untuk menahan beban dari gempa, dimana dinding pengisi tak diperhitungkan memikul beban gempa. Sedangkan *infilled frame* adalah sistem struktur yg terdiri dari rangka balok kolom untuk menahan beban gempa, dimana dinding pengisi diperhitungkan kekakuannya dalam memikul beban gempa.



Gambar 3.6 Sketsa *Infilled Frame Model*



Gambar 3.7 Sketsa *Open Frame Model*

#### D. Analisis Beban Seismic

##### 1. Metode Dinamik Respon Spektra

Respon spektra adalah suatu alternatif *single-parameter* lain yang dapat dipakai untuk menyatakan daya rusak gempa terhadap struktur. Respon spektrum adalah plot antara nilai-nilai maksimum percepatan, kecepatan maupun simpangan massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal akibat gempa lawan periode getarnya. Faktor respons gempa dinyatakan dalam bentuk percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam respon spektra desain

**a. Faktor keutamaan dan kategori resiko struktur,  $I_e$**

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung ditentukan sesuai Tabel 3.1 berdasarkan jenis pemanfaatan struktur tersebut. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.2

Tabel 3.1 Kategori Resiko

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> </ul>	II

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<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> </ul>	III
<ul style="list-style-type: none"> <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

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

Sumber : SNI 1726-2012, Tabel 1

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber : SNI 1726-2012, Tabel 2



### b. Koefisien Modifikasi Respon

Sistem yang digunakan masing-masing nilai  $R$  dan  $C_d$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 3.2

Tabel 3.3 Faktor  $R$  ,  $C_d$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor Kuat Lebih Sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_a^b$
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>			
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4

Sumber : SNI 1727:2012, Tabel 9

### c. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik  $S_{D1}$  ditentukan melalui persamaan 3.1 dan 3.2. Respon spektra desain yang direpresentasikan ke dalam grafik dapat dibuat dengan mengacu pada nilai parameter respon spektra yang telah dihitung ( $S_a$ ,  $S_{DS}$  ,  $S_{D1}$ ,  $T_0$ ,  $T_s$ )

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \quad (3.2)$$

Tabel 3.4 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 <sup>b</sup>				

Sumber : SNI-1726-2012, Tabel 4

Tabel 3.5 Koefisien Situs,  $F_1$ 

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 <sup>b</sup>				

Sumber : SNI-1726-2012, Tabel 5

#### d. Spektrum Respon Desain

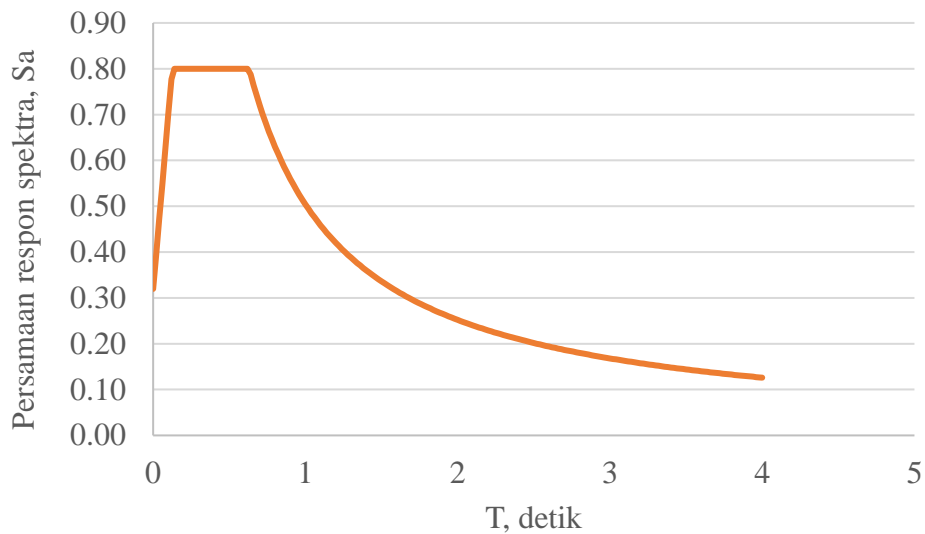
Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.8 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari diambil dari persamaan  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan

$$S_a = S_{DS} \left[ 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right] \quad (3.3)$$

2. Untuk perioda lebih besar atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$
3. Untuk perioda lebih besar  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.4)$$



Gambar 3.8 Kurva respon spectrum desain

## 2. Metode Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen merupakan salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembeban gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen. Analisis statik ekuivalen merupakan salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembeban gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen

### a. Periode Fundamental Pendekatan Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2012 perioda fundamental struktur  $T$  tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dan perioda fundamental pendekatan  $T_a$  yang harus ditentukan dari persamaan yang telah ditentukan

Tabel 3.6 Koefisien untuk batas atas pada periode 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

Tabel 3.7 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

<b>Tipe struktur</b>	<b><math>C</math></b>	<b><math>x</math></b>
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 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

#### **b. Geser Dasar Seismik, $V$**

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

$$V = C_s \cdot W \quad (3.5)$$

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 :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.6)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.7)$$

dimana:

- $C_{vx}$  : Faktor distribusi vertikal
- $V$  : 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  $x$
- $k$  : 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 dan 2

### c. Koefisien Respons Seismik, $C_s$

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) dihitung dengan 3.8, dimana nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ) tidak boleh melebihi koefisien respons seismik maksimum ( $C_{smax}$ ) yang dihitung menurut Persamaan 3.9 dan tidak kurang dari koefisien respons seismik minimum ( $C_{smin}$ ) yang dihitung menurut Persamaan 3.10.

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

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.9)$$

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.10)$$

### d. Pusat Massa Struktur

Titik pusat massa struktur ditinjau dari eksentrisitas struktur tiap lantai, pusat massa struktur didefinisikan dengan bantuan *software ETABS*

## 3. Metode Dinamik Time History

Metode ini menggunakan akselogram gempa. Akselogram gempa harus memiliki kemiripan dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang terjadi pada suatu lokasi tempat struktur yang sedang ditinjau. Menurut Faizah, R (2015) Untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik *Time History* terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan

muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut.

#### a. Koefisien Situs

Nilai PGA dapat diperoleh dari situs desain spektra Indonesia, nilai ini yang menjadi acuan dalam penentuan nilai koefisien situs  $F_{PGA}$ , yang diperoleh dari Tabel 8 SNI 1726:2012. Percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ( $PGA_M$ ) dihitung dengan Persamaan 3.11

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \quad (3.11)$$

dengan :

$PGA_M$  : MCEG percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA : percepatan tanah puncak terpetakan

$F_{PGA}$  : koefisien situs dari Tabel

Tabel 3.8 Koefisien Situs,  $F_{PGA}$

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,36	PGA = 0,4	PGA ≥ 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 : SNI 1726:2012, Tabel 8

#### b. Akselogram Gempa Masukan

Data rekaman percepatan tanah yang sesuai harus diambil dari rekaman peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Setiap data rekaman tersebut harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang perioda dari 0,2T hingga 1,5T.

Percepatan gempa yang dipilih dimodifikasi dengan program bantu *SeismoMatch* agar respon spektrumnya konvergen dengan respon spektrum elastik desain.

Percepatan gempa untuk analisis time history dalam penelitian ini dipilih 3 data rekaman gempa.

### E. Evaluasi Batas Kinerja Struktur

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) seperti pada Tabel 3.7.

Tabel 3.9 Batas ijin simpangan tiap lantai

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.	$0,025h_{sx}$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

dengan :  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $h_{sx}$ .

Sumber : SNI 2012-1726 Tabel 16

Berdasarkan SNI 2012:1726 Pasal 7.8.6 Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat ( $\delta_x$ ) (mm) ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.12)$$

dengan:

$C_d$  : faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  : defleksi pada lokasi yang ditinjau

$I_e$  : faktor keutamaan gempa yang ditentukan