

BAB III

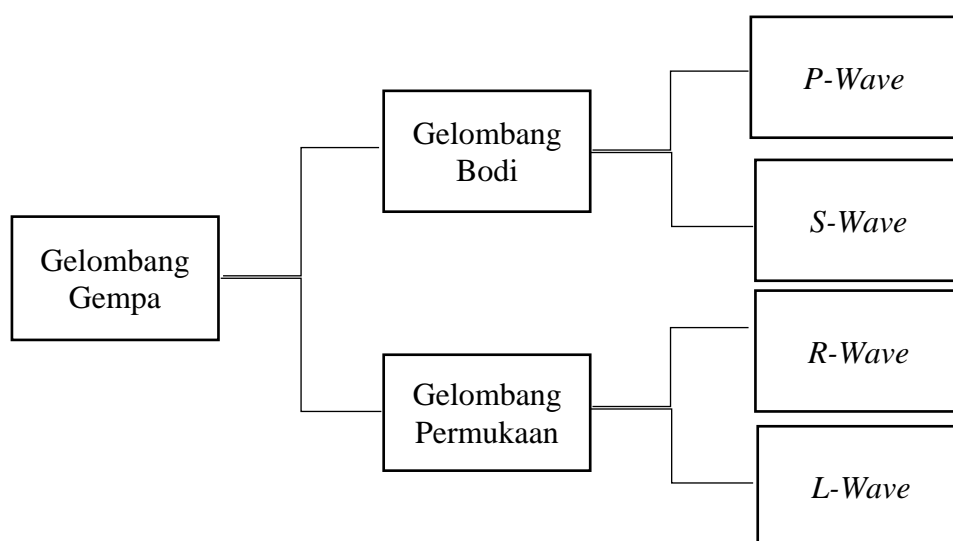
LANDASAN TEORI

A. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan dilapisan kerak bumi. akumulasi energi yang dilepaskan dihasilkan dari pergerakan lempeng tektonik akibat gaya gravitasi, pergerakan lempeng tersebut mengakibatkan adanya regangan/tegangan pada batuan, ketika tegangan maksimum batuan terlampaui maka terjadi pelepasan energi (Prawirodikromo W., 2012). Energi yang dilepaskan pada pusat patahan akan merambat ke segala arah sebagai gelombang seismik hingga mencapai ke permukaan tanah. Getaran permukaan tanah yang diakibatkan oleh aktivitas/pergerakan lempeng tektonik disebut gempa tektonik.

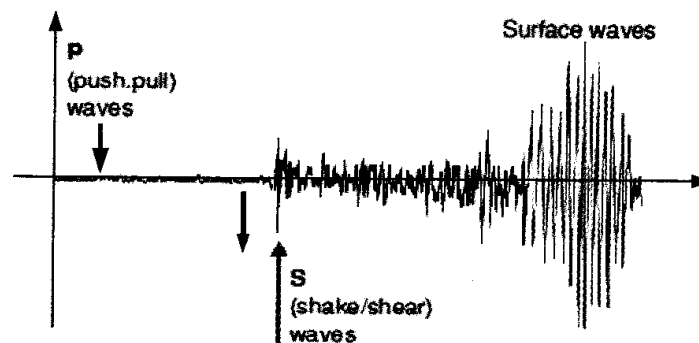
Menurut Prawirodikromo (2012), Gelombang energi gempa yang merambat dapat dibedakan menjadi dua.

1. Gelombang bodi (*body waves*) yaitu gelombang yang menjalar dari dalam bumi/pusat gempa.
2. Gelombang permukaan (*surface waves*) yaitu gelombang yang menjalar pada lapis permukaan tanah.



Gambar 3.1 Pembagian tipe gelombang gempa.

Richart et al., 1970 menjelaskan bahwa dari kedua kelompok gelombang tersebut, gelombang permukaan membawa energi yang lebih besar dari pada gelombang bodi. Namun dikarenakan gelombang bodi memiliki kecepatan rambat lebih besar, dimana gelombang yang paling cepat merambat adalah P-wave disusul oleh S-wave dan kemudian R-wave. Maka dapat disimpulkan gelombang bodi akan tercatat lebih dahulu dibanding gelombang permukaan.



Gambar 3.2 Rekaman urutan kedatangan gelombang gempa.

(sumber: Prawirodikromo, W., 2012)

B. Dinamika Struktur

1. Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada setiap saat. Apabila suatu titik yang ditinjau mengalami perpindahan tempat secara horizontal, vertikal dan ke samping misalnya, maka sistem tersebut mempunyai 3 derajat kebebasan. (Widodo, 2000).

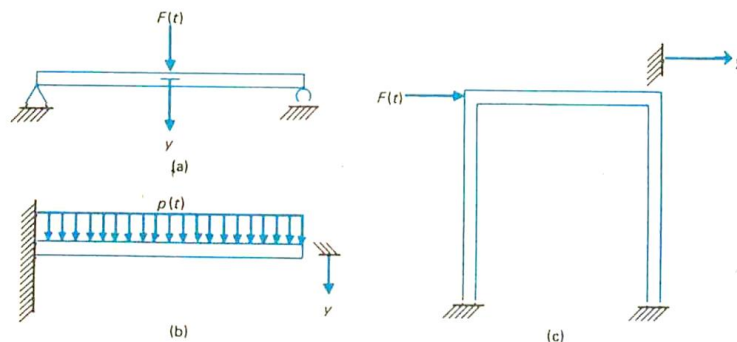
Menurut Mario Paz (1996), pada umumnya struktur berkesinambungan (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan (*number degree of freedom*) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*).

2. Derajat Kebebasan Tunggal (*Single Degree of Freedom*)

Sistem struktur yang memiliki derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) hanya memiliki satu koordinat perpindahan (*single displacement coordinate*). Elemen-elemen yang berpengaruh pada sistem ini adalah:

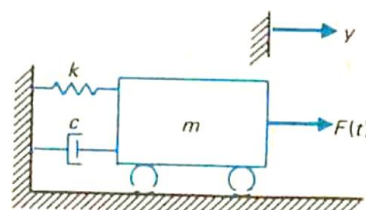
- massa (m) yang menyatakan massa dari struktur tersebut,
- pegas (k) atau dapat diartikan sebagai kekakuan dari struktur,
- redaman (c) dan
- gaya luar (F) yang berkerja pada waktu (t).

Beberapa contoh sistem struktur yang termasuk kedalam SDOF dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan model matematis yang dapat menjelaskan sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.3 (a,b,c) Contoh struktur yang termasuk SDOF.

Sumber: *Dynamic of Structures, Mario Paz*

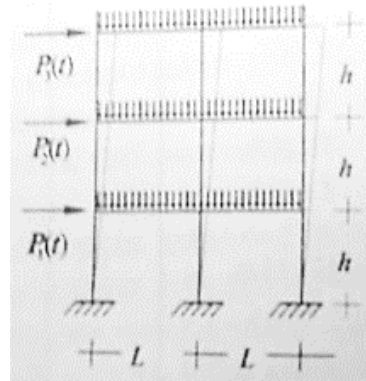


Gambar 3.4 Model matematis sistem SDOF.

Sumber: *Dynamic of Structures, Mario Paz*

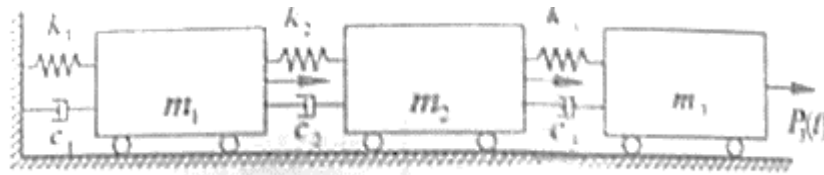
3. Derajat Kebebasan Banyak (*Multi Degree of Freedom*)

Contoh sistem struktur yang termasuk kedalam sistem MDOF dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan model matematis yang merepresentasikan sistem berderajat kebebasan banyak dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.5 Sistem struktur yang termasuk kedalam sistem MDOF.

Sumber: *Respon Dinamik Struktur Elastik, Widodo Prawirodikromo*



Gambar 3.6 Model matematis sistem MDOF.

Sumber: *Respon Dinamik Struktur Elastik, Widodo Prawirodikromo*

C. Pembebanan Struktur

Pada proses perencanaan maupun peninjauan struktur bangunan harus diperhitungkan beban-beban yang bekerja pada bangunan. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987 pengertian beban beban yang bekerja pada bangunan yang ditinjau pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Beban mati, ialah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup, ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa

hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

3. Beban gempa, ialah semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. dalam hal pengaru gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

D. Parameter Respons Spektra

1. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dalam SNI 1726-2012 dijelaskan bahwa untuk perhitungan desain parameter seismik atau amplifikasi besaran percepatan getaran puncak dari suatu situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Penetapan kelas situs harus dilakukan dengan penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Penentuan kelas situs yang diambil berdasarkan nilai N SPT dapat ditentukan berdasarkan pasal 5.3 atau Tabel 3 SNI -1726-2012.

Tabel 3.1 Klasifikasi situs.

Kelas Situs	\bar{N}
SA (batuan keras)	N/A
SB (batuan)	N/A
SC (tanah keras)	>50
SD (tanah sedang)	15-50
SE (tanah lunak)	<15

Sumber: SNI 1726-2012

2. Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan dalam SNI 1726-2012 diatur dalam Tabel 1 dengan 4 jenis kategori risiko yang dibagi berdasarkan jenis pemanfaat gedung atau bangunan tersebut.

3. Faktor Keutamaan Bangunan (I_e)

Pengaruh gempa rencana terhadap bangunan gedung harus dikalikan dengan faktor keutamaan bangunan. Klasifikasi faktor keutamaan dapat ditentukan pada Tabel 2 SNI 1726-2012 dengan menggunakan nilai kategori risiko bangunan.

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

4. Koefisien Modifikasi Respon (R)

Koefisien modifikasi respon dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan sistem struktur penahan gaya gempa yang tercantum dalam Tabel 9 SNI 1726-2012.

5. Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)

Faktor pembesaran defleksi dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan sistem struktur penahan gaya gempa yang tercantum dalam Tabel 9 SNI 1726:2012.

Tabel 3.3 Faktor R dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan-Gaya Seismik	R	C_d
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan		
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	4
2. Rangka baja dengan bresing konsentris	7	5,5
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	5,5
4. Dinding Geser Beton Bertulang Biasa	6	5
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	4
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	5
-	-	-

Sumber: SNI 1726:2012

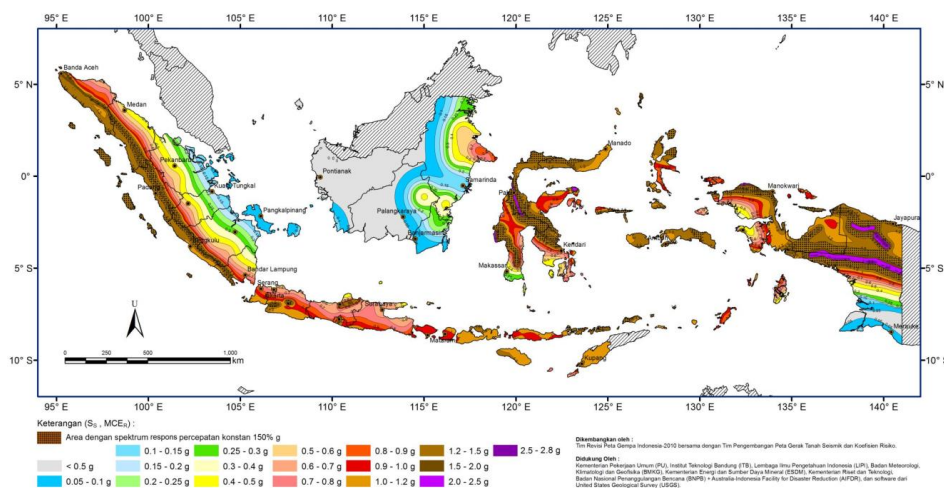
E. Beban Gempa Respons Spektrum

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (Spectral Displacement, SD), kecepatan maksimum (Spectral Velocity, SV) atau percepatan maksimum (Spectral Acceleration, SA) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (Single Degree of Freedom, SDOF) (Prawirodikromo, 2012).

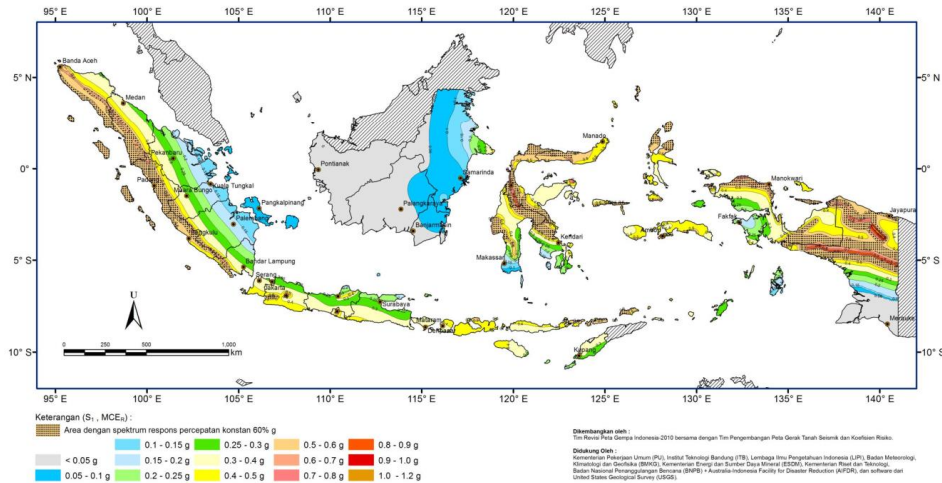
Metode respons spektrum dapat dipakai untuk menghitung atau menentukan simpangan, gaya-gaya dinamik dan lainnya pada struktur dengan derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*).

1. Parameter Respons Spektral Periode Pendek dan 1 detik (S_s , S_1)

Parameter S_s (percepatan batuan dasar periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 SNI 1726:2012 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi (SNI 1726:2012).



Gambar 3.7 Peta S_s
Sumber: SNI 1726:2012



Gambar 3.8 Peta S_1
 Sumber: SNI 1726:2012

2. Koefisien Situs

Tabel 3.4 Nilai Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
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

Sumber: SNI 1726:2012

Tabel 3.5 Nilai Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sumber: SNI 1726:2012

3. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

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

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

S_{MS} : Parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum periode pendek

S_{M1} : Parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum periode 1 detik

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan:

S_{DS} : Parameter percepatan spektral periode pendek

S_{D1} : Parameter percepatan spektral periode 1 detik

5. Respons Spektrum Desain

Untuk keperluan analisis harus dibuat respons spektrum desain yang sesuai dengan kondisi tanah setempat, dengan persamaan berikut:

1) untuk periode kurang dari T_0 , S_a dihitung dengan persamaan,

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(3.5)$$

2) untuk periode kurang dari T_0 , S_a sama dengan s_{ds} ,

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots(3.6)$$

3) untuk periode kurang dari T_0 , S_a dihitung dengan persamaan,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

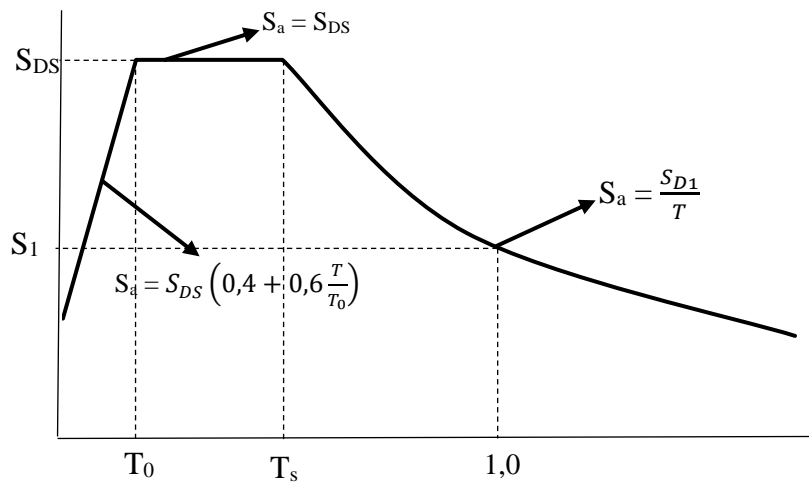
S_{DS} : parameter respons spectral percepatan desain pada perioda pendek,

S_1 : parameter respons spectral percepatan desain pada perioda 1 detik,

T : periode (detik).

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_1 = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3.9 Respons Spektrum Desain

F. Periode Getar Alami Struktur

Periode getar alami struktur yang dihasilkan oleh perhitungan program Analisa struktur harus diambil dengan ketentuan tidak boleh kurang dari T_a dan tidak boleh lebih dari T_{max} .

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(3.8)$$

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \dots\dots\dots(3.9)$$

keterangan:

T_a : periode getar alami struktur pendekatan,

T_{max} : batas atas periode getar alami struktur,

C_u : koefisien batas atas (Tabel 14 SNI 1726:2012),

C_t dan x : nilai parameter periode pendekatan (Tabel 15 SNI 1726:2012),

h_n : ketinggian struktur.

Tabel 3.6 Koefisien C_u

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 3.7 Parameter Periode Pendekatan

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	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

G. Beban Gempa Statik Ekuivalen

Metode analisa statik ekuivalen dapat diartikan sebagai suatu cara analisis beban gempa yang berupa penyederhanaan dan modifikasi dari analisa beban gempa dinamik menjadi beban beban horizontal statik ekuivalen yang bekerja pada pusat-pusat massa dari suatu struktur. Analisa statik hanya memperhitungkan ragam getar mode pertama dimana pada kondisi tertentu ragam getar mode pertama menyebabkan pengaruh kerusakan paling dominan.

1. Geser Dasar Seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$C_{smin} = 0,044 S_{DS} I_e \dots \dots \dots (3.11)$$

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T_a(R/I_e)} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$V = C_s W t \dots \dots \dots (3.13)$$

2. Distribusi Gaya Gempa Statik Ekuivalen

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3 distribusi vertikal beban gempa ekuivalen statik dapat dihitung dengan persamaan,

$$F_x = C_{vx}V \dots\dots\dots(3.14)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \dots\dots\dots(3.15)$$

keterangan:

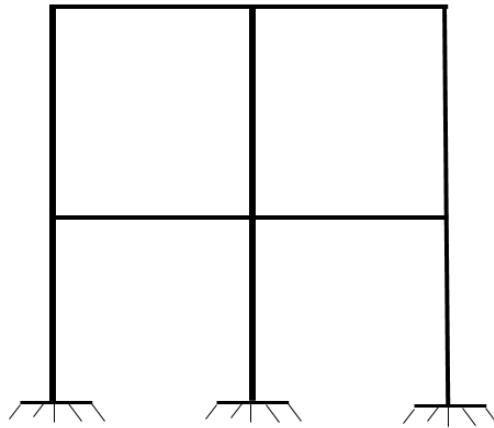
- F_x : gaya gempa lateral(kN),
- C_{vx} : faktor distribusi vertikal,
- W : berat seismik total struktur pada tingkat i atau x,
- k : untuk struktur dengan perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
 untuk struktur dengan perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
 untuk struktur dengan perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

H. Riwayat Waktu (*Time History*)

Time history analysis adalah suatu metode analisis dinamik yang dapat digunakan untuk analisis struktur terhadap beban gempa dinamik. Data *time history* atau riwayat waktu didapat dari data catatan akselerogram gempa saat gempa terjadi disuatu wilayah. Sehingga analisis *time history* dapat merepresentasikan bagaimana respon suatu model struktur terhadap percepatan gempa sebenarnya atau yang diskalakan ke gempa rencana.

I. Model Struktur *Open-Frame*

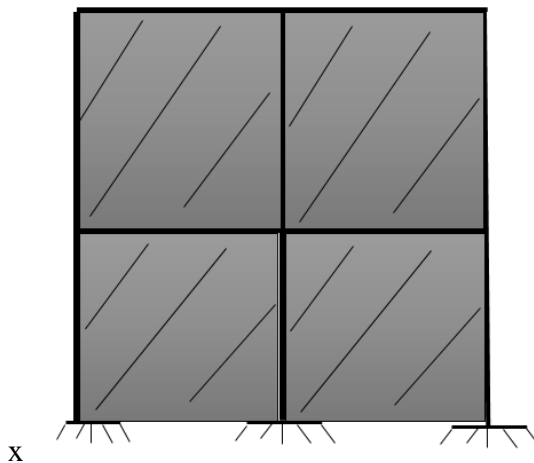
Model struktur open-frame adalah suatu bentuk pemodelan struktur dimana dinding-dinding arsitektural atau non-struktural dari gedung tidak ikut dimodelkan atau hanya dimodelkan sebagai beban yang bekerja pada elemen lainnya.



Gambar 3.10 Contoh model struktur *open frame*.

J. Model Struktur *Infill frame*

Model Struktur Infill frame adalah suatu cara pemodelan struktur dimana dinding-dinding penutup non-struktural ikut dimodelkan kedalam model struktur sebagai suatu *section* tertentu.



Gambar 3.11 Contoh model struktur *infill frame*.

K. Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai

Perpindahan lantai elastik atau defleksi elastik didapatkan dari analisa elastik dengan bantuan ETABS, pada SNI 1726:2012 dijelaskan bahwa untuk menentukan defleksi pusat massa pada tingkat x harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e} \dots \dots \dots (3.16)$$

Keterangan:

- δ_e : Perpindahan Elastis
 C_d : Faktor amplifikasi Defleksi
 I_e : Faktor keutamaan Gempa

Penentuan simpangan antar lantai yang tercantum dalam SNI 1726:2012 (Gambar 5) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta_j = \frac{C_d (\delta_{ej} - \delta_{ei})}{I_e} \dots \dots \dots (3.17)$$

Keterangan:

- Δ_j : Simpangan antar lantai pada lantai j

L. Batasan Simpangan Antar Lantai

Evaluasi kinerja struktur yang dilakukan adalah dengan meninjau simpangan antar lantai struktur seperti yang terdapat dalam SNI 1726 – 2012 pasal 7.12.1 menyesuaikan dengan tipe sistem struktur dan kategori risiko bangunan.

Tabel 3.8 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 sitem 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	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 lantai

Sumber: SNI 1726:2012