

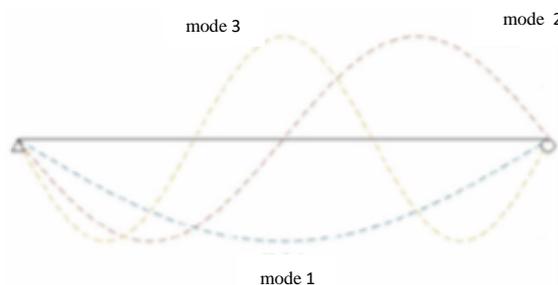
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Dinamika Struktur

Dinamika struktur berlaku saat subjek menerima beban dinamik. Beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah terhadap waktu, seperti angin, pejalan kaki, gempa atau ledakan. Analisis struktur pada suatu sistem bertujuan untuk menentukan *displacement* pada semua lokasi struktur di tiap waktu yang hal ini didapatkan dengan menyelesaikan *equation of motion* (EOM). Penyelesaian EOM menyangkut keseimbangan seluruh gaya yang bersangkutan seperti gaya inersia, gaya redaman, gaya kekakuan dan gaya eksternal.

Tiap struktur memiliki frekuensi natural yang sesuai dengan getaran natural. Getaran natural ini memiliki bentuk yang berubah-ubah mengikuti getaran struktur yang akan terjadi. Frekuensi yang sesuai merupakan jumlah dari getaran per detik yang terjadi saat getaran bebas. Untuk struktur yang sederhana, seperti balok pendukung dengan getaran natural bebas, diilustrasikan pada gambar 2.1 dan getaran natural dapat dihitung dengan mudah. Tapi untuk struktur yang lebih kompleks dibutuhkan *software* untuk menghitung elemen-elemen agar dapat menentukan getaran bebasnya.



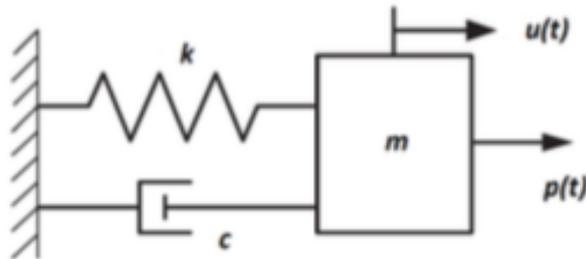
Gambar 2.1 Ilustrasi dari 3 Bentuk Mode Pertama Untuk Balok Pendukung Sederhana

Sumber: Widodo, 2011

2.1.1 Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) merupakan elemen dasar dari analisis struktur dan terdiri dari getaran sederhana. Hal ini merupakan cara termudah untuk mendeskripsikan sebuah struktur dan memberi pemahaman sistem yang lebih kompleks yang akan dijelaskan di subjek selanjutnya.

Jumlah dari kederajatan bebas adalah jumlah dari *displacement* yang berpengaruh untuk menjelaskan pergeseran lokasi masa pada suatu sistem. Sistem SDOF terdiri dari *spring-mass-damper*, Dalam hal ini *mass*, m , hanya dapat bergerak terhadap satu arah. Dalam sistem terdapat kekakuan linear yaitu k dan koefisien redaman linear yaitu c .



Gambar 2.2 Sistem *Spring-Mass-Damper*
Sumber: Juan Amortegui Cuevas, 2014

Gaya inersia pada sistem, f_t , setara dengan jumlah seluruh gaya yang berpengaruh pada sistem

$$f_t = f_d + f_s + p(t) \quad (2.1)$$

dimana f_d adalah gaya redaman, f_s adalah gaya kekakuan dan $p(t)$ adalah gaya eksternal yang diaplikasikan terhadap sistem. Gaya inersia adalah percepatan proporsional yang berdasarkan oleh hukum Newton 2 tentang gerak

$$f_t = m\ddot{u} \quad (2.2)$$

dimana m dan \ddot{u} adalah masa dan percepatan terhadap struktur. Gaya redaman adalah gaya yang berpengaruh terhadap kecepatan pada sistem.

$$f_d = -c\dot{u} \quad (2.3)$$

dimana c dan \dot{u} adalah koefisien redaman dan kecepatan terhadap sistem. Gaya kekakuan adalah gaya yang berdasarkan hukum Hooke dimana kekakuan, k , berhubungan dengan pergeseran pada sistem.

$$f_s = -ku \quad (2.4)$$

Dengan menggabungkan persamaan sistem diatas maka akan didapatkan persamaan EOM.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.5)$$

2.1.2 Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Struktur memiliki jumlah DOF yang tidak terbatas namun dapat disederhanakan untuk menganalisis perilaku dinamika struktur. Dengan menyederhanakan jumlah elemen struktur, dengan membagi beberapa elemen sebagai sebagai derajat kederajatan bebas dan pendekatan terhadap stuktur dapat diperoleh. Seperti namanya yaitu sistem *multi degree of freedom* dimana sistem memiliki kederajatan bebas terdiri 2 atau lebih. Teori sistem MDOF merupakan penggabungan keseluruhan 1 ke N kederajatan bebas diperoleh melalui sistem persamaan EOM.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.6)$$

dimana m , c , k adalah matriks $N \times N$ yang terdiri dari masa, kekakuan dan redaman dari suatu sistem. Pergeseran, kecepatan dan percepatan untuk setiap titik di dapatkan dari vektor u , \dot{u} , \ddot{u} $N \times 1$ Gaya eksternal pada setiap titik didapatkan dari vektor beban $p(t)$ $N \times 1$.

Pada realisasi suatu struktur, masa didistribusikan secara keseluruhan terhadap struktur sedangkan secara teori, masa pada setiap elemen diasumsikan terkonsentrasi pada titik join. Sebagai hasilnya masa dari tiap member digantikan dengan jumlah masa di tiap ujung elemen. Matriks

kekakuan di dapatkan dari penyusunan matriks kekakuan lokal dan redaman di spesifikasikan sebagai jumlah numerik untuk rasio redaman berdasarkan data eksperimen.

2.2. Gempa

2.2.1 Pengertian Gempa

Gempa adalah getaran yang dirasakan di permukaan bumi yang di sebabkan oleh gelombang seismic dari sumber gempa di dalam lapisan kulit bumi. Pusat atau sumber gempa bumi yang letaknya di dalam bumi disebut hiposentrum. Daerah permukaan bumi ataupun di dasar laut yang merupakan tempat pusat getaran bumi merambat disebut episentrum.

Gempa adalah getaran bumi atau getaran kulit bumi secara tiba-tiba,bersumber pada lapisan kulit bumi (litosfer) bagian dalam, dirambatkan oleh kulit bumi ke permukaan bumi. Gempa bumi di sebabkan adanya pelepasan energi yang menyebabkan dislokasi (pergeseran) pada bagian dalam kulit bumi secara tiba-tiba. Gempa bumi termasuk bagian dari tenaga endogen yang merusak, menyimpang dari sifat tenaga endogen pada umumnya, yaitu membangun tetapi merupakan gejala sampingan tenaga endogen yaitu tektonisme dan vulkanisme.

2.2.2 Klasifikasi Gempa

Menurut sebab terjadinya gempa diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Gempa Vulkanisme

Gempa vulkanisme terjadi karena meletusnya gunung berapi. Kalau gunung api akan meletus timbullah tekanan gas dari dalam sumbat kawah. Tekanan itu menyebabkan terjadinya getaran yang di sebut gempa bumi. Gempa bumi ini hanya terdapat di daerah sekitar gunung api yang meletus. Gempa bumi ini lebih bahaya dari gempa bumi runtuh.

2. Gempa Runtuhan

Gempa bumi runtuh terjadi karena guguran atau runtuh tanah atau runtuhnya bagian atas litosfer karena sebelah dalam berongga. Daerah yang terjadi gempa guguran adalah daerah tambang yang berbentuk terowongan,

pegunungan kapur atau lubang di dalam pegunungan kapur. Kadang-kadang terdapat gua yang terjadi karena pelarutan. Jika atap gua tersebut runtuh, maka timbullah gempa bumi. Bahaya yang diakibatkan gempa bumi runtuhan kecil, umumnya gempa runtuhan terjadi pada wilayah lokal.

3. Gempa Tektonik

Gempa bumi tektonik disebabkan oleh gerak lempeng tektonik dan merupakan akibat dari gerak orogenetik. Daerah yang sering kali mengalami gempa ini adalah daerah pegunungan lipatan muda, yaitu daerah rangkaian mediterania dan rangkaian sirkum pasifik. Bahaya gempa ini besar sekali sebab lapisan bumi dapat mengalami lipatan patahan, retakan atau bergeser. Karena gempa ini selalu mengakibatkan pergeseran muka bumi, maka gempa ini disebut juga gempa dislokasi. Dislokasi berasal dari kata Dis artinya terpisah, iocare artinya tempat. Jadi, timbulnya getaran itu karena retakan kulit bumi atau terpisahnya kulit bumi dari kedudukan semula

4. Ledakan Nuklir

Gempa ini terjadi disebabkan oleh peledakan nuklir. Pada umumnya peristiwa ini terjadi pada negara-negara yang sedang perang atau yang melakukan percobaan hasil rakitnya. Kekuatan gempa ini tergantung dari kekuatan dari hantaman nuklir tersebut.

2.2.3 Dampak Gempa

Berikut merupakan dampak-dampak dari gempa jika ditinjau dari segi fisik dan sosial.

1. Dampak Fisik

- a) Bangunan roboh
- b) Kebakaran
- c) Jatuhnya korban
- d) Tanah longsor akibat guncangan
- e) Permukaan tanah menjadi merekat dan jalan menjadi putus
- f) Banjir akibat rusaknya tanggul
- g) Gempa dasar laut menyebabkan tsunami

2. Dampak Sosial
 - a) Kemiskinan
 - b) Kelaparan
 - c) Menimbulkan penyakit
 - d) Bila pada skala besar dapat menimbulkan tsunami dan dapat melumpuhkan politik, system ekonomi dll.

2.3 Kriteria Struktur Tahan Gempa

Perencanaan bangunan bertingkat tinggi harus memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, seperti beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati dan beban hidup struktur, sedangkan beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Macam-macam kategori level kinerja struktur antara lain:

1. *Operasional*

Bila terjadi gempa, tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur (bangunan tetap berfungsi).

2. *Immediate Occupancy*

Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak dapat mengalami kerusakan structural dan tidak mengalami kerusakan non-struktur. Sehingga dapat langsung dipakai.

3. *Life Safety*

Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan structural, manusia yang tinggal berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.

4. *Collapse Prevention*

Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan structural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.

Untuk mendapatkan level kinerja suatu struktur, dilakukan perhitungan maksimum *drift* dan maksimum *inelastic drift*. Rumus yang digunakan untuk menghitung maksimum *drift* dan maksimum *inelastic drift* diturunkan pada persamaan berikut:

$$\text{maksimum drift} = \frac{Dt}{H} \quad (2.7)$$

$$\text{maksimum inelastic drift} = \frac{Dt - D1}{H} \quad (2.8)$$

Dimana:

Dt = displacement saat terjadinya *performance point* (m)

$D1$ = displacement saat terjadinya leleh pertama kalinya (m)

H = tinggi total bangunan (m)

Dari persamaan diatas dilakukan perbandingan Batasan *ratio drift* menurut ATC-40 yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Batasan Rasio Drift Atap

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 s.d. 0,02	0,02	0,33 V1/P1
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005	no limit	no limit

Sumber: ATC40 – *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 2000*

2.3.1 Gempa Rencana

Sesuai dengan SNI 1726-2012 terkait dengan gempa rencana yang pengaruhnya harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2 %.

2.3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non Gedung untuk Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 suatu beban gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e (Tabel 2.3) sesuai dengan Tabel 2.2 kategori risiko bangunan gedung.

Tabel 2.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	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"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung Perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i> - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	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"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<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>	
<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 diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 2.3 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

2.3.3 Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.4 :

Tabel 2.4 Faktor R, C_d , dan Ω_o untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_o^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	4	TB	TB	TI	TI	TI
4. Rangka beton bertulang	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

pemikul momen khusus								
5. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah.	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
6. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726-2012

Catatan :

TB : Tidak dibatasi;

TI : Tidak diizinkan.

2.3.4 Faktor Redundansi

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.3.4, faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan ketentuan berikut :

1. Kondisi dimana nilai ρ adalah 1,0

Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini :

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
3. Desain komponen non-struktural;
4. Desain struktur non-gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
6. Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat- lebih ;
7. Struktur dengan sistem peredaman;
8. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

2. Faktor redundansi(ρ) untuk kategori desain seismik D sampai F

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

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau ;
2. Struktur dengan denah beraturan di semua 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 di setiap 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, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

2.3.5 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.5. Setiap struktur harus diklasifikasikan desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektrum percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.5 untuk periode pendek dan Tabel 2.6 untuk periode 1 detik :

Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 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 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons
Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DI} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DI} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2012

2.3.6 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 terkait penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.9 berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \Delta_x}{I_e} \quad (2.9)$$

Keterangan :

C_d : faktor pembesaran defleksi

Δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis.

I_e : faktor keutamaan gempa.

Sumber: SNI 1726-2012

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2.7 :

Tabel 2.7 Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)

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	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

Keterangan :

- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan , simpangan antar lantai tingkat izin harus sesuai dengan tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a / ρ .

2.3.7 Respon Spektrum

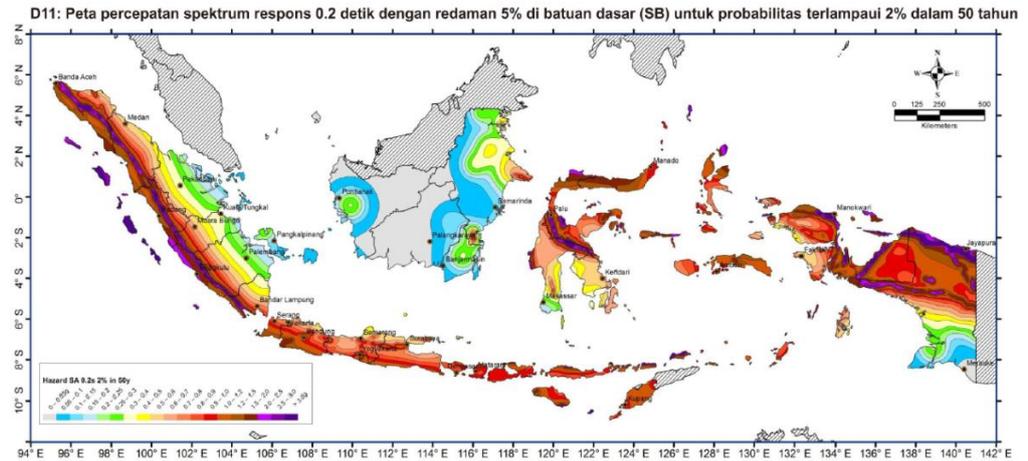
Respons spektrum adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektrum adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektrum adalah respons maksimum. Kurva respons spektrum akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (*spectral displacement, S_D*), kecepatan maksimum (*spectral velocity, S_V*), dan percepatan maksimum (*spectral acceleration, S_A*), (Budiono dan Supriatna, 2011:26).

Mengacu pada SNI 1726-2012 respons spektrum dapat ditentukan berdasarkan parameter faktor jenis tanah dan faktor zonasi wilayah gempa. Berikut merupakan tahapan umum tentang cara menentukan respons

spektrum sesuai dengan SNI:

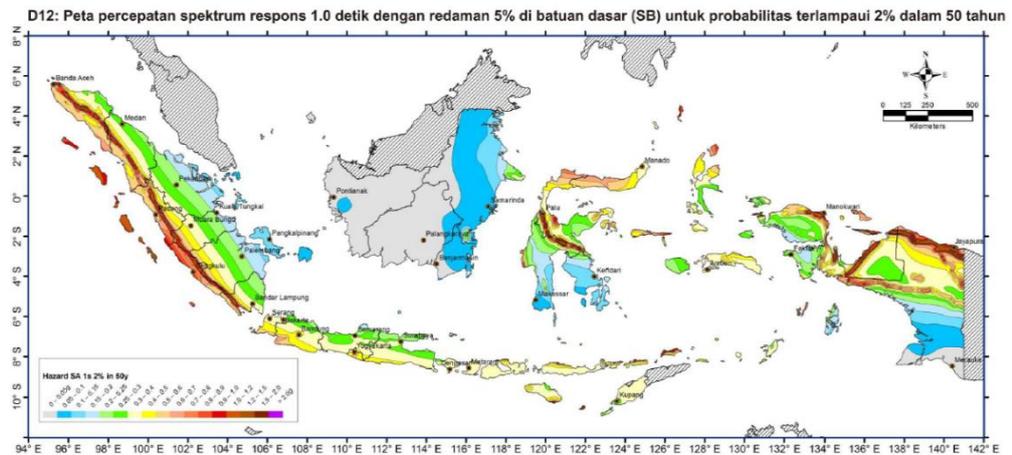
1. Menentukan parameter percepatan tanah S_s dan S_1

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



Gambar 2.3 Peta S_s

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017



Gambar 2.4 Peta S_1

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017

2. Menentukan koefisien situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF pada tabel 2.8 dan 2.9

Tabel 2.8 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons <i>spectral</i> percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T=0,2 detik, S _s				
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s =1,0	S _s ≥ 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 Gempa 1726-2012

Tabel 2.9 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons <i>spectral</i> percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁				
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ =0,4	S ₁ ≥ 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	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sumber : SNI Gempa 1726-2012

3. Menghitung parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum

$$S_{MS} = S_s \cdot F_a \quad (2.10)$$

$$S_{M1} = S_1 \cdot F_v \quad (2.11)$$

Keterangan:

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

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

4. Menghitung parameter percepatan spektrum desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.12)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.13)$$

Keterangan :

S_{DS} : Parameter percepatan spektrum periode pendek.

S_{D1} : Parameter percepatan spektrum periode 1 detik

5. Perhitungan nilai T_0 dan T_s

$$T_0 : 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.14)$$

$$T_1 : \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.15)$$

6. Perhitungan S_a

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

Untuk periode kurang dari T_0 maka S_a ditentukan dengan persamaan

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.16)$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$ maka S_a sama dengan S_{DS}

$$S_a = S_{DS} \quad (2.17)$$

Untuk $T > T_s$ maka nilai S_a ditentukan dengan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.18)$$

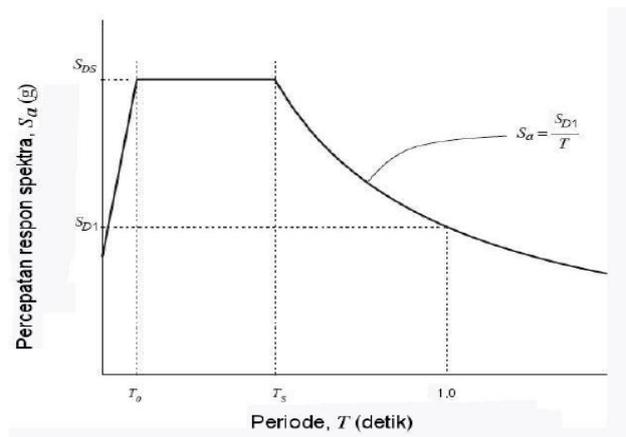
Keterangan :

S_{DS} : Parameter percepatan spektrum periode pendek.

S_{D1} : Parameter percepatan spektrum periode 1 detik

7. Plot kurva respons spektrum desain

Gambar 2.5 adalah contoh kurva respons spektrum:



Gambar 2.5 Spektrum Respons Desain

Sumber: www.sevenproants.blogspot.com

Untuk di Indonesia sendiri kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman yang bekerja sama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengembangkan suatu pelayanan publik yang menyediakan akses respons spektrum untuk seluruh wilayah yang ada di Indonesia dengan berbagai kriteria kelas situs dan lokasi yang diinginkan.

2.3.8 Analisis *Time History*

Menurut SNI 1726-2012 tentang analisis *time history* (analisis respons riwayat waktu) harus terdiri dari analisis model matematis linear suatu struktur untuk menentukan responsnya melalui metode integrasi numerik terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerakan tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

2.3.9 Akselogram Gempa *Time History*

Beban gempa dinamik dapat dianalisis menggunakan analisis dinamik. Dan untuk beban *time history* menggunakan analisis riwayat waktu yang dijelaskan seperti di bawah ini :

1. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur di mana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (Anggen, 2014), yaitu:

- 1) Analisis ragam respons spektrum di mana total respons didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar.
- 2) Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis di mana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari masukan berupa akselogram dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2. Analisis Riwayat Waktu

Menurut Chopra (2011), Analisa Riwayat waktu digunakan untuk menganalisis respons dinamik struktur yang menerima beban yang berubah-ubah terhadap waktu. Persamaan dinamik dari struktur seperti ini dapat dilihat pada persamaan 2.19

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K]u(t) = \{p(t)\} \quad (2.19)$$

Di mana $[M]$ adalah matriks massa struktur; $[C]$ adalah matriks redaman struktur; $[K]$ adalah matriks kekakuan struktur; $u(t)$ adalah simpangan yang berubah terhadap waktu; $\dot{u}(t)$ adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu; $\ddot{u}(t)$ adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu; dan $p(t)$ adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu. Analisis riwayat waktu dibagi atas dua yaitu analisis riwayat waktu linier dan analisis riwayat waktu nonlinier. Siregar (2010) mengemukakan bahwa, struktur linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi awal setelah diberikan beban tertentu. Struktur yang diberi analisis nonlinear adalah struktur yang mengalami perubahan Redaman (C), dan Kekakuan (K) pada kondisi

tertentu. Analisa seperti ini membantu untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur tersebut dapat bertahan. Nilai perbandingan titik hancur pertama kali leleh struktur disebut daktilitas (μ).

3. Percepatan Gempa Masukan (Akselerogram)

Sebelum menerapkan rangkaian akselerogram dalam analisis struktural, data harus diskalakan untuk mengurangi ketidakcocokan antara karakteristik dan parameter desain di suatu wilayah berdasarkan standar atau dari situs *hazard* tertentu. Hal yang perlu diingat bahwa akselerogram digunakan mewakili gerakan gempa.

Periode alami (*natural period*) dari getaran struktur selalu ditentukan dengan tingkat ketidakpastian (*degree of uncertainty*). Penggunaan hanya satu akselerogram dalam analisis struktural dapat dengan mudah diremehkan (*underestimation*). Untuk alasan ini, jumlah minimum variasi karakteristik dari suatu akselerogram lain yang mungkin dianggap akan mengurangi pengaruh fluktuasi periode ke periode dalam *spectra*. Maka dari itu analisis riwayat waktu harus dilakukan dengan tidak kurang dari tiga set data (masing-masing berisi dua komponen horizontal atau, jika gerakan vertikal dipertimbangkan, dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal) dari gerakan tanah (*ground motion*) yang harus dipilih dan skala tidak kurang dari tiga catatan gempa (FEMA 356).

Akselerogram yang dipilih dalam analisis *time history* pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 11.1.3.2, SNI-1726-2012 yaitu respons spektrum dari gempa aktual (redaman 5%) yang dipilih sebagai gerak tanah masukan, rata-rata nilai percepatannya harus berdekatan dengan respons spektrum dari gempa rencana (redaman 5%) pada periode $0,2T - 1,5T$.

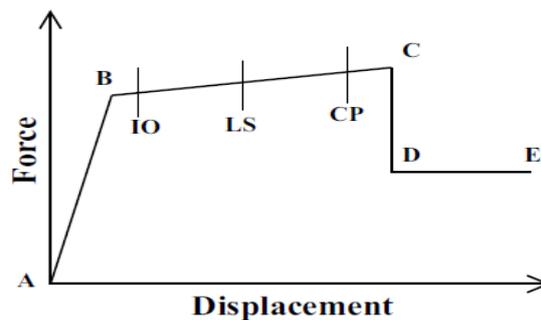
2.3.10 Sendi Plastis

Mekanisme sendi plastis terbentuk di ujung-ujung dan di dasar kolom bawah menghasilkan perilaku histeresis yang stabil, pembentukan sendi plastis haruslah didominasi oleh perilaku lentur. Sendi plastis dapat terjadi pada suatu portal berderajat kebebasan banyak (MDOF). Gedung saat

dilanda gempa yang cukup besar akan timbul momen-momen pada balok atau kolomnya, apabila besar dari momen-momen tersebut melampaui besar momen kapasitas balok atau kolom portal maka terjadi sendi plastis pada balok atau kolom ditandai dengan melelehnya tulangan baja pada beton bertulang. Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung tersebut runtuh (Ulfah, 2011).

Struktur didesain untuk mengalami kerusakan atau berperilaku inelastik melalui pembentukan sendi-sendi plastis pada elemen-elemen strukturnya, pada saat menahan beban gempa rencana. Perilaku inelastik atau plastis tersebut pada dasarnya memberikan mekanisme disipasi energi pada struktur sehingga dapat membatasi gaya gempa yang masuk ke struktur bangunan. Walaupun struktur bangunan berperilaku inelastik, struktur bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan pada saat menerima beban gempa rencana atau bahkan beban gempa yang lebih besar (Imran dan Hendrik, 2010:35).

Berdasarkan FEMA 356 hubungan gaya dan perpindahan dapat dikategorikan ke dalam beberapa kriteria yang menunjukkan perilaku sendi plastis. Hubungan gaya dan perpindahan dalam bentuk grafik adalah seperti pada gambar 2.6 :



Gambar 2.6 Tahapan Performa Struktur

Structural performance level dikategorikan menjadi 3 rentang yaitu :

IO : *Immediate Occupancy*

LS : *Life Safety*

CP : *Collapse Prevention*

Immediate Occupancy berarti kondisi ketika tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur di mana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. *Life Safety* berarti kondisi ketika terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan, komponen nonstruktur masih ada tetapi tidak berfungsi dan dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan. *Collapse Prevention* berarti kondisi di mana kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan nonstruktur, kekuatan struktur berkurang banyak dan hampir mengalami keruntuhan.

2.3.11 Simpangan

Berdasarkan FEMA 356 rasio batasan simpangan untuk ketiga kategori *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* seperti yang terdapat pada Tabel 2.10:

Tabel 2.10 Kriteria Simpangan (*displacement*)

Sistem Struktur	IO	LS	CP
Beton	1 %	2 %	4 %
Baja	0,7 %	2,5 %	5 %

Sumber: FEMA 356

2.3.12 Rotasi

Berdasarkan FEMA 356 batasan rotasi pada struktur beton yang diizinkan untuk kondisi *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* adalah seperti yang terdapat pada Tabel 2.11 :

Table 2.11 Rotasi Diizinkan pada Struktur Beton (dalam radian)

Sistem Struktur	IO		LS		CP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Balok	0,01	-0,01	0,02	-0,02	0,025	-0,025

Sumber: FEMA 356

Sedangkan untuk struktur baja, batasan rotasi yang diizinkan untuk masing-masing kondisi *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* adalah seperti yang terdapat pada Tabel 2.12 :

Tabel 2.12 Rotasi Diizinkan pada Struktur Baja (dalam radian)

Sistem Struktur	IO		LS		CP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Balok	0,00175	-0,0017	0,014	-0,014	0,021	-0,021

Sumber: FEMA 356