

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Persyaratan Pemodelan Struktur

Pembangunan gedung bertingkat sudah dilakukan sejak lama, tidak terkecuali penggunaan desain yang asimetris pada gedung bertingkat yang sudah dimulai sejak lama. Pemodelan struktur gedung bertingkat menggunakan desain asimetris secara detail membutuhkan upaya yang lebih, karena pada perencanaan gedung asimetris perhitungan dan proses analisis lebih rumit dan panjang.. Pemodelan struktur perlu acuan standar agar terciptanya struktur yang nyaman, awet, serta ekonomis. Persyaratan ini umumnya memuat standar material yang dipakai metode dan analisis perhitungan, dan pembebanan serta kombinasinya yang nantinya akan dibebankan pada pemodelan bangunan tersebut.

3.1.1 Persyaratan Perhitungan

Penelitian pada tugas akhir ini akan menggunakan data gedung *Diagnostic Center* dari rumah sakit Panti Rahayu. Persyaratan perhitungan tersebut mengacu dari berbagai peraturan standar yang berlaku, agar hasil perhitungan dapat menghasilkan hitungan yang aman, nyaman, ekonomis dan dapat dipertanggung jawabkan. Persyaratan dan aturan tersebut meliputi:

1. SNI 1727-2018, tentang peraturan minimum beban desain yang digunakan pada gedung atau struktur yang lainnya;
2. SNI 03-1727-1989, mengenai pedoman dalam merencanakan beban rumah atau gedung;
3. SNI 1726-2019, mengenai tata cara merencanakan beban gempa struktur gedung atau struktur lainnya;

3.2 Perencanaan Pembebanan

Sebelum melakukan pemodelan struktur, peneliti harus merencanakan pembebanan yang akan terpakai pada pemodelan. Peneliti harus mengetahui jenis-jenis beban yang akan dipikul oleh portal setiap lantai bahkan sampai ke ruangan.

Sehingga pada saat tahap pemodelan seluruh beban dapat diperhitungkan agar penelitian ini seakurat mungkin hasilnya.

3.2.1 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada pemodelan struktur rumah sakit Panti Rahayu Purwodadi disesuaikan berdasarkan fungsi ruangan yang dijelaskan pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1. Beban Hidup Minimum Berdasarkan Fungsi Bangunan dan Ruangan

Fungsi Bangunan atau Ruangan	Beban Merata ksf (kN/m ²)	Beban Terpusat lb (Kn)
Rumah sakit		
Ruang untuk operasi	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang untuk rawat pasien	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor pada lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Lantai untuk akses		
Ruangan untuk kantor	50 (2,4)	2.000 (8,9)
Ruangan dengan lab. komputer	100 (4,79)	2.000 (8,9)
Ruang pertemuan		
Kursi mati	60 (2,87)	
Kursi beban hidup	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	
Panggung	100 (4,79)	
Mimbar	100 (4,79)	
Teras balkon	100 (4,79)	
Dudukan tangga berjalan dengan ukuran tertentu		100 (4,79)
Tangga permanen		100 (4,79)

Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Minimum Berdasarkan Fungsi Bangunan dan Ruang

Fungsi Bangunan atau Ruang	Beban Merata ksf (kN/m²)	Beban Terpusat lb (Kn)
Atap Dak, atap bubung, melengkung	20 (0,96)	
Konstruksi yang lain Komponen pada atap yang berhubungan langsung dengan pekerjaan lantai		2000 (8,90)
Panel rangka atap, komponen utama yang digunakan pada atap pabrik atau gudang dan perbaikan garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)

Sumber : SNI 1727:2018

3.2.2 Beban Mati

Beban mati yang diperhitungkan pada studi kasus ini adalah beban elemen struktur sendiri. Menurut SNI 1727:2013 untuk menentukan nilai beban maati rencana yang akan digunakan untuk pembebanan, beban yang digunakan adalah berat bahan, material yang sebenarnya, jika tidak ada informasi mengenai berat material, maka nilai beban harus disetujui oleh pihak yang berwenang. Beban mati atau beban bangunan itu sendiri dimuat dalam perarturan PPPURG 1987 berikut pembebanan tersebut.

1. Bahan Bangunan

- a. Beton menggunakan tulangan = 2400 kg/m^3
- b. berat profil baja = 7850 kg/m^3
- c. Pasir tebal 1 cm = 2200 kg/m^3
- d. Pasir = 1800 kg/m^3

2. Beban mati gedung

- a. *finishing* plat lantai 1cm tebal = 24 kg/m^2
- b. Bata ringan = 65 kg/m^2
- c. acian semen tebal 1cm = 21 kg/m^2
- d. Langit-langit atap = 13 kg/m^2
- e. Mekanikal elektrik dan pemipaan = 20 kg/m^2
- f. *floordeck* = $10,1 \text{ kg/m}^2$
- g. penutup atap (genting, usuk, reng) = 50 kg/m^2
- h. sagrod (diameter 10 mm) = 6 kg/m

3.2.3 Perencanaan Pembebanan Gempa Statik dan Dinamik

Dalam penelitian ini struktur bangunan memperhitungkan beban gempa statik dan juga beban dinamik. Hal itu dikarenakan Indonesia berada didaerah yang secara seismik memiliki wilayah resiko gempa yang tinggi, ketidakpastian waktu dan besarnya skala magnitudo gempa yang terjadi juga mendasari pentingnya beban rencana gempa sebagai parameter utama dalam mendesain. Pada tugas akhir ini diperhitungkan nilai beban gempa statik dan dinamik, beban gempa yang terpakai adalah nilai beban gempa tertinggi. Sebelum melakukan perhitungan beban gempa harus ditentukan variabel-variabel yang mendukung untuk menentukan nilai beban gempa statik dan beban dinamik, berikut ini adalah penentuan variabel-variabel dan penjelasan dalam menentukan beban gempa statik dan dinamik berdasarkan SNI 1726:2019.

1. Faktor kategori risiko bangunan gedung

Langkah awal merencanakan beban gempa yaitu memilih kategori risiko bangunan gedung yang akan di desain sesuai dengan tabel 3.2

Tabel 3. 2. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung atau non gedung yang mempunyai resiko kecil adanya jiwa manusia saat kegagalan struktur terjadi, akan tetapi tidak dibatasi untuk: -Fasilitas untuk digunakan pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas tidak tetap - Gudang untuk digunakan penyimpanan - Gedung kecil lainnya	I
Semua struktur gedung atau struktur bukan gedung, yang tidak termasuk pada kategori risiko I,III,IV, akan tetapi tidak dibatasi untuk:	

Lanjutan Tabel 3.2. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p><i>Cluster</i> Perumahan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pertokoan - Perbelanjaan - Struktur yang digunakan untuk perkantoran - Struktur untuk apartemen ataupun rumah susun - Struktur untuk keperluan industri - Pabrik 	II
<p>Semua struktur yang memiliki kategori resiko tinggi terhadap korban jiwa manusia apabila kegagalan struktur terjadi, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teater - Gedung rapat - Stadion - Fasilitas kesehatan biasa - Penitipan anak - Panti jompo - penjara 	III

Lanjutan Tabel 3.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Semua struktur yang memiliki kategori resiko tinggi terhadap korban jiwa manusia apabila kegagalan struktur terjadi, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan untuk pembangkit listrik - Bangunan untuk air - bangunan untuk pengolahan limbah - Bangunan untuk telekomunikasi 	III
<p>Semua struktur yang digunakan untuk fasilitas penting, termasuk tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Struktur monumen - Struktur untuk pendidikan - Fasilitas kesehatan memiliki ruang bedah dan unit gawat darurat - Kantor pemadam, kantor polisi, kantor tentara dan garasi kendaraan darurat - Bunker 	IV

Sumber: SNI 1726:2019

2. Faktor keutamaan gempa (I_e)

Setelah menentukan tipe resiko bangunan selanjutnya dilakukan penentuan nilai I_e gempa, ini nantinya digunakan untuk pengali pengaruh gempa rencana. Berikut tabel 3.3 faktor keutamaan yang dipilih berdasarkan kategori resiko bangunan.

Tabel 3. 3. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

Sumber: SNI 1726:2019

3. Klasifikasi situs tanah

Profil tanah tempat bangunan direncanakan harus ditentukan jenis tanah pada kedalaman 30m dari permukaan. Nilai ini digunakan untuk menentukan nilai percepatan dari dasar ke permukaan tanah

Tabel 3. 4. Klasifikasi Situs Tanah

Kelas situs	\bar{v}_s	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}
Tanah Batuan Keras	>1500	N/A
Tanah Batuan	750 sampai 1500	N/A
Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak	350 sampai 750	≥ 100
Tanah sedang	175 sampai 350	50 sampai 15
Tanah lunak)	<175	<15

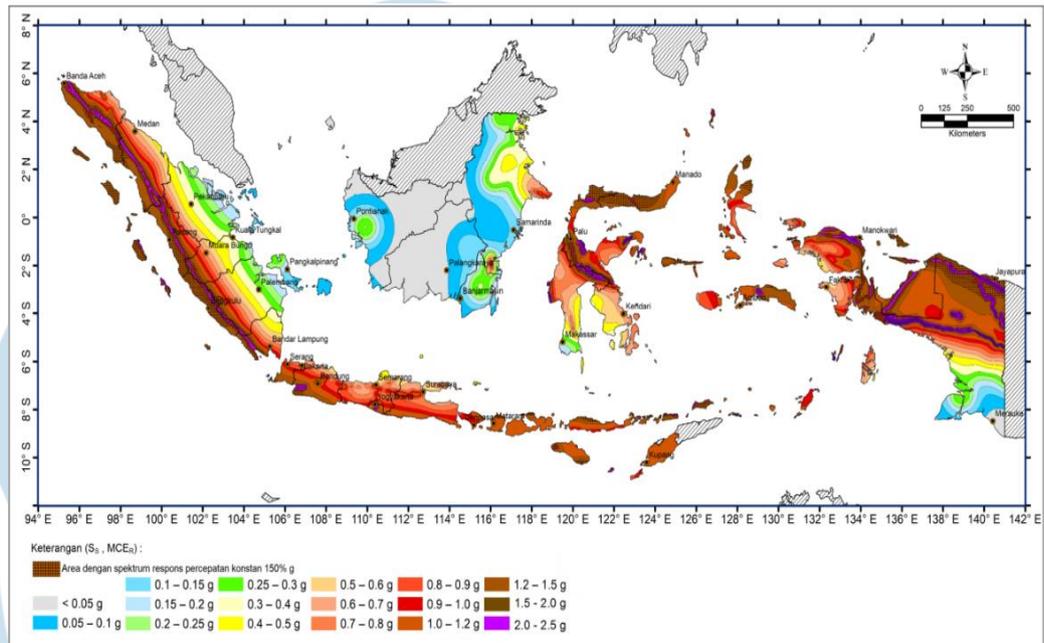
Sumber: SNI 1726:2019

4. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1)

Nilai S_s adalah nilai untuk percepatan gempa waktu pendek, S_1 adalah percepatan dasar tanah dengan periode 1 detik. Nilai ini didapat dari gambar peta pembagian wilayah dan bisa diambil

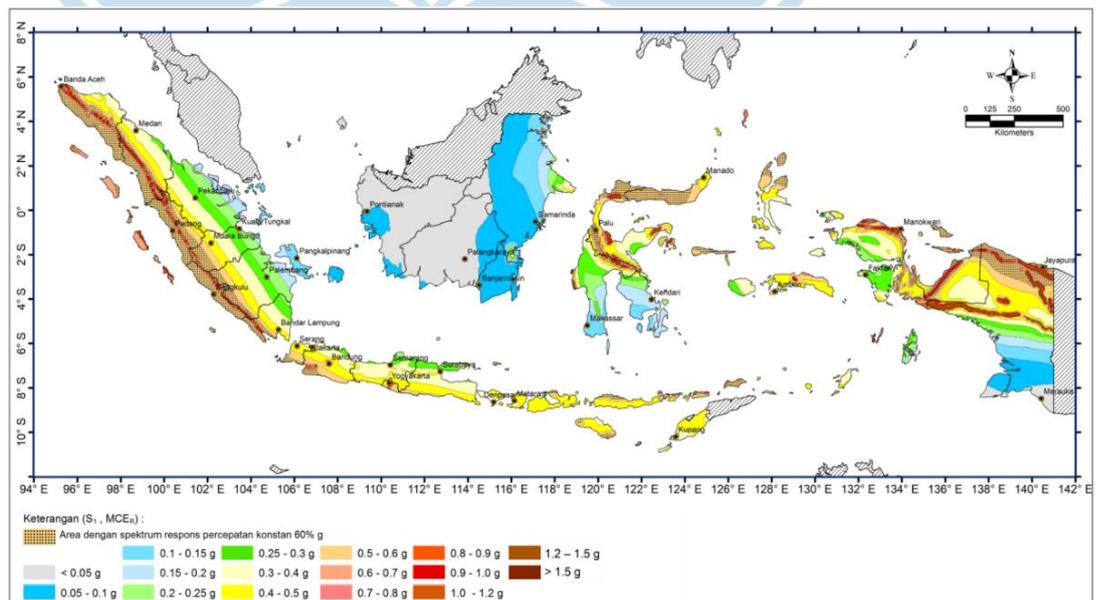
nilainya dari situs atau aplikasi puskim. Secara konvensional penentuan nilai parameter ini dapat ditentukan menggunakan peta distribusi wilayah nilai S_s dan S_1 pada gambar dibawah ini.

Gambar 3. 1. Peta Distribusi Wilayah Nilai S_s



Sumber: SNI 1726:2019

Gambar 3. 2. Peta penentuan nilai S_1



Sumber: SNI 1726:2019

5. Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Penentuan nilai spektral percepatan MCE_R pada koordinat yang ditinjau, peneliti membutuhkan suatu faktor pembesaran seismik pada 1 detik dan 0,2 detik. Faktor pembesaran ini berupa getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a), selain itu dibutuhkan juga faktor pembesaran untuk percepatan pada periode satu detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan klasifikasi situs tanah, tabel nilai F_a dapat dilihat pada Tabel 3.4, sedangkan tabel nilai F_v dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5. Koefisien nilai situs F_a

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 3. 6. Koefisien nilai situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa pada periode 1 detik				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber: SNI 1726:2019

CATATAN:

(a) Apabila nilai S_s dan S_1 berada diantara parameter digunakan interpolasi linier

(b) SS^b = Jenis tanah yang perlu dilakukan investigasi lebih lanjut

Setelah nilai parameter respons spektral gempa pada periode 0,2 dan periode 1 detik diketahui maka dapat dilanjutkan untuk mencari nilai parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek S_{MS} dan periode 1 detik S_{M1} . Persamaan keduanya dapat dilihat dari Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3-1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_s \quad (3-2)$$

Keterangan :

S_{MS} = Nilai percepatan respon spektrum pada periode pendek,

F_a = faktor pembesaran perioda pendek,

S_s = nilai percepatan dasar untuk perioda pendek,

S_{M1} = Nilai percepatan respon spektrum pada periode satu detik,

F_v = pembesaran percepatan dasar periode satu detik, dan

S_1 = percepatan dasar periode satu detik

Setelah nilai percepatan respon spektrum periode pendek dan periode satu detik sudah ditentukan nilainya, dapat dilanjutkan perhitungan nilai S_{DS} dan S_{D1} melalui persamaan berikut ini:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3-4)$$

Keterangan:

S_{DS} = Nilai percepatan spektrum periode pendek,

S_{D1} = Nilai percepatan spektrum periode satu detik.

6. Kategori desain seismik

Struktur bangunan yang akan didesain harus ditentukan kategori desain seismiknya berdasarkan parameter respon spektral percepatan desainnya pada periode pendek (S_{DS}), periode 1 detik (S_{D1}) dan berdasarkan kategori resiko bangunan yang didesain. Dengan mengacu Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 berikut kategori desain seismik dapat ditentukan.

Tabel 3. 7. Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori resiko bangunan	
	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 1726:2019

Tabel 3. 8. Kategori desain seismik berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori resiko bangunan	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

7. Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R , C_d , Ω_0)

Struktur yang didesain untuk menahan gaya lateral yang diakibatkan gempa harus memiliki salah satu dari koefisien dan faktor yang ditunjukkan pada Tabel 3.7. Koefisien modifikasi respons (R), (Ω_0), dan (C_d) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.7 untuk menentukan nilai gaya geser dasar, simpangan antar tingkat harus menggunakan parameter dibawah ini.

Tabel 3. 9. Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R , C_d , Ω_0) untuk Sistem Pemikul Momen.

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons (R)	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	Faktor pembesaran defleksi (C_d)
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$
Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4
Rangka baja pemikul momen biasa	8	3	$5\frac{1}{2}$
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$

Sumber: SNI 1726:2019

8. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) dan (T) dalam detik menurut SNI 1726:2019 dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3-5)$$

$$T = T_a \cdot C_u \quad (3-6)$$

Dengan:

H_n = Tinggi total struktur (m),

Koefisien C_t dan x nilainya dapat ditentukan berdasarkan dari Tabel 3.8 berikut:

Tabel 3. 10. Koefisien untuk batas 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 1726:2019

Tabel 3. 11. Nilai parameter pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul momen 100% 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

Sumber: SNI 1726:2019

9. Gaya dasar seismik

Menurut SNI 1726:2019 gaya dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3-7 berikut.

$$V = C_s W \quad (3-7)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik,

C_s = nilai respons seismik, dan

W = berat seismik.

Nilai respon seismik berdasarkan SNI 1726:2019 dapat ditentukan nilainya menggunakan persamaan 3-8 berikut.

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-8)$$

Nilai C_s dapat ditentukan nilainya melaluo persamaan 3-9 tidak boleh melebihi nilai C_s pada persamaan 3.13 berikut.

$$C_s = \frac{SD1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-9)$$

C_s nilainya harus lebih kecil dibanding nilai pada persamaan 3-10 berikut.

$$C_s = 0,044 SD_s I_e \geq 0,01 \quad (3-10)$$

Pada daerah yang memiliki nilai S_1 lebih besar atau sama dengan 0,6g, maka C_s nilainya harus lebih dari persamaan 3-11 berikut ini.

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-11)$$

Sebagai perhitungan alternatif, peneliti dapat menentukan nilai periode fundamentak T_a , dari persamaan berikut persamaan ini hanya bsa digunakan pada ketinggian tingkat tidak melebihi 12 tingkat, dimana sistem gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi paling sedikit 3m:

$$T_a = 0,1 N \quad (3-12)$$

Dengan:

N = Jumlah lantai

10. Distribusi gaya vertikal (C_{vx}) dan gaya lateral (F_x) akibat Gempa.

Setelah dilakukan penentuan variabel untuk perhitungan beban gempa dilakukan penentuan nilai beban gempa statik. Beban gempa statik akan menghasilkan perhitungan distribusi gaya vertikal (C_{vx}) dan gaya gempa lateral, berdasarkan SNI 1726:2019 nilai C_{vx} ditentukan dengan

persamaan 3-13 dan gaya gempa lateral (F_x) ditentukan dengan persamaan 3-14 berikut ini.

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x k}{\sum W_i H_i k} \quad (3-13)$$

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-14)$$

Keterangan:

C_{vx} = distribusi beban gempa arah vertikal,

W_i dan W_x = massa total bangunan,

F_x = gaya lateral akibat gempa, dan

H_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i dan x

11. Respon spektrum desain untuk perhitungan gempa dinamik

Setelah mendapatkan nilai S_{D1} , S_{DS} dan kategori desain seismik, peneliti harus menentukan nilai T_0 dan T_s agar peneliti mendapatkan nilai nilai antara T dan S_a . Untuk mendapatkan nilai T_0 dan T_s dapat digunakan persamaan 3-15 dan persamaan 3-16 berikut ini.

$$T_0 = 0,2 \times \frac{SD1}{SDS} \quad (3-15)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (3-16)$$

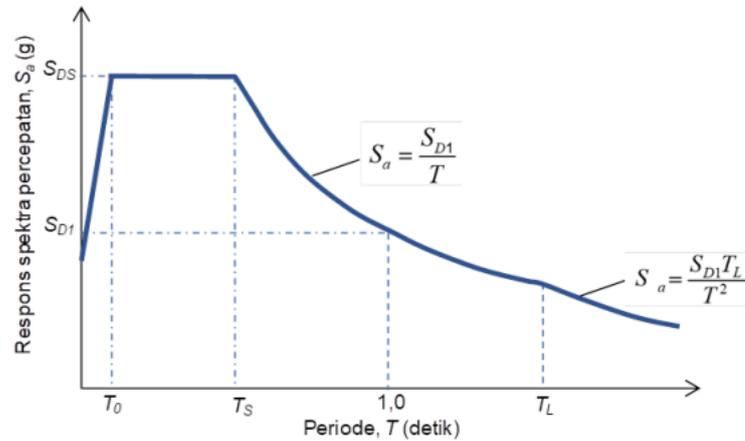
Dalam menghitung nilai S_a dapat menggunakan tiga persamaan berikut ini.

$$T < T_0 ; S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (3-17)$$

$$T_0 \leq T \leq T_s ; S_a = S_{DS} \quad (3-18)$$

$$T > T_s ; S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3-19)$$

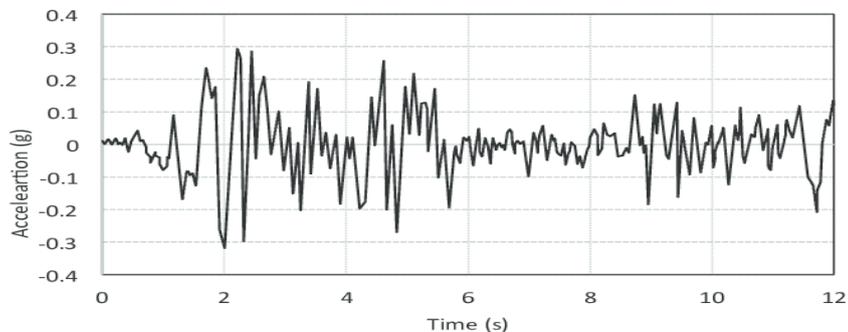
Nilai periode dan S_a nantinya akan konversi menjadi dalam bentuk kurva. Kurva spektrum dikembangkan dalam bentuk grafik berikut.



Gambar 3. 3. Kurva spektrum desain
Sumber: SNI 1726:2019

3.3 Analisa Riwayat Waktu

Data rekam gempa di Indonesia sangat sulit untuk ditemukan. Hal inilah yang membuat penulis kesulitan menggunakan analisa riwayat waktu digunakan untuk analisa efek *pounding*. Salah satu pemecahan masalah ini adalah mengkonfigurasi respon spektrum yang seharusnya digunakan untuk menghasilkan beban gempa rencana diubah menjadi riwayat waktu yang sama. Penulis menggunakan gempa riwayat waktu yang diperoleh dari rekaman gempa El-Centro pada. Berikut gambar rekaman gempa yang terjadi di El-Centro pada 15 Mei 1940.



Gambar 3. 4. Rekaman gempa yang terjadi di El-Centro pada 15 Mei 1940.

3.4 Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019, struktur gedung yang direncanakan harus dikategorikan sebagai bangunan yang memiliki struktur beraturan atau tidak. Ketidakberaturan struktur terjadi apabila struktur yang direncanakan memenuhi syarat-syarat tertentu, syarat-syarat ini disebutkan pada SNI 1726:2019 pada tabel 13 sampai dengan tabel 14. Ketidakberaturan struktur sendiri diklasifikasikan menjadi dua yaitu ketidakberaturan struktur vertikal dan ketidakberaturan struktur horizontal. Berikut ini penjelasan mengenai klasifikasi dan syarat-syarat ketidakberaturan struktur.

3.4.1 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Ketidakberaturan struktur horizontal memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi agar struktur bangunan dapat dikatakan memiliki struktur yang tidak beraturan, berikut syarat syarat ketidakberaturan struktur horizontal.

Tabel 3. 12. Ketidakberaturan horizontal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
1a.	Ketidakberaturan torsi ini didefinisikan jika nilai simpangan antar lantai yang terjadi pada tiap tingkat yang nilainya dihitung termasuk torsi tidak terduga dengan nilainya lebih dar 1,2 kali simpangan antar tingkat rata rata pada bangunan tersebut
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan jika ada nilai simpangan antar tingkat yang dihitung termasuk torsi tidak terduga dengan nilainya lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata rata.
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan jika pada pemodelan bangunan terdapat dimensi denah struktur sudut nilainya lebih besar dari 15% dimensi denah struktur arah yang akan ditinjau
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma artinya pemodelan bangunan terdapat suatu diafragma yang memiliki variasi nilai kekakuannya mendadak

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
	berubah, bisa termasuk terpotong atau terbuka nilainya lebih dari 50% dari satu tingkat ke tingkat yang
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika ditemukan pada pemodelan struktur memiliki diskontinuitas pada penahan gaya gempa, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.

Sumber: SNI 1726:2019

3.4.2 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi agar struktur bangunan dapat dikatakan memiliki struktur yang tidak beraturan, berikut syarat syarat ketidakberaturan struktur vertikal.

Tabel 3. 13. Ketidakberaturan vertikal pada struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat pemodelan pada tingkat tertentu yang kekakuan nya kurang dari 70% atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan
	dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.
3.	Ketidakteraturan Geometri Vertikal ini artinya dimensi horizontal pada pemodelan ada dimensi horizontal pemikul gaya seismik di tingkat seberang nilainya lebih dari 130% dimensi horizontal pemikul gaya seismik di sampingnya didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya
4.	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.
5a.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.
5b	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

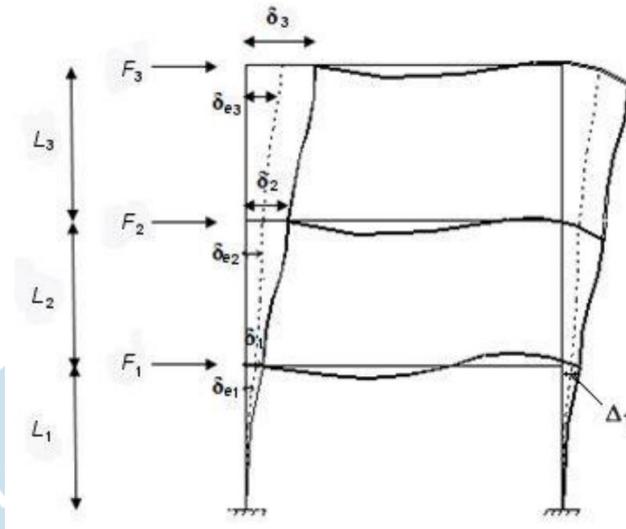
Sumber: SNI 1726:2019

3.5 Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur berdasarkan SNI 1726:2002 nilainya tidak perlu melebihi $\frac{0,03}{R} \times h$ atau nilainya lebih kecil dari 30mm tergantung mana nilainya lebih kecil.

3.6 Kinerja Bats ultimit

Menurut SNI 1726:2019 pada gambar 10 terdapat ilustrasi penentuan simpangan antar lantai. Berikut gambar ilustrasi dan persamaan dalam penentuan simpangan antar lantai.



Gambar 3. 5. Penentuan simpangan antar lantai
 Sumber: SNI 1726:2019

Berdasarkan Gambar 3.5 simpangan yang terjadi merupakan simpangan kumulatif yang terjadi antar lantai. Nilai simpangan di atas harus dikali lagi dengan nilai C_d dan dibagi dengan menggunakan nilai I_e . Berikut persamaan dalam menentukan simpangan pada suatu lantai.

Tingkat 3

F_3 = Gaya gempa lateral

δ_{e3} = perpindahan akibat pembebanan gempa statik

δ_3 = $C_d \delta_{e3} / I_e$ = perpindahan yang nilainya diamplifikasi

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_3$

Tingkat 2

F_2 = gaya gempa statik

δ_{e2} = perpindahan akibat pembebanan gempa statik

$\delta_2 = C_d \delta e_2 / I_e =$ perpindahan yang nilainya diampifikasi

$\Delta_2 = (\delta e_2 - \delta e_1) C_d / I_e \leq \Delta_3$

Tingkat 1

$F_1 =$ gaya gempa statik

$\delta e_1 =$ perpindahan akibat pembebanan gempa statik

$\delta_1 = C_d \delta e_1 / I_e =$ perpindahan yang nilainya diampifikasi

$\Delta_1 =$ simpangan antar tingkat

$\Delta_i / L_i =$ rasio simpangan antar tingkat

$\delta_3 =$ perpindahan total.

Dengan Tabel batasan simpangan antar lantai sebagai berikut.

Tabel 3. 14. Batasan simpangan antar lantai

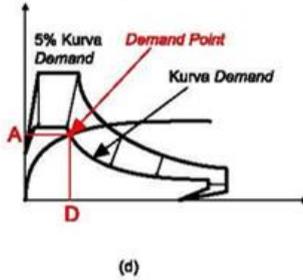
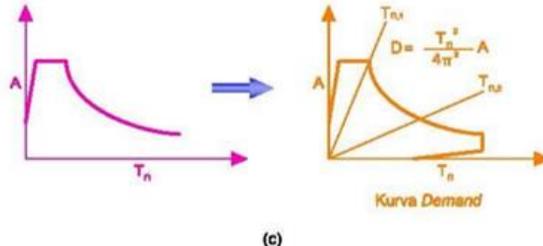
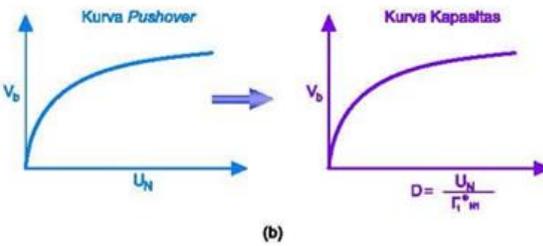
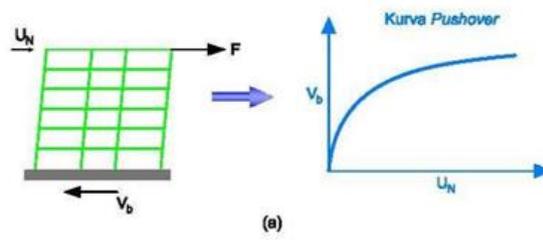
Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yangtelah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	0,025 _{hsx} ^c	0,020 _{hsx}	0,015 _{hsx}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

Sumber: SNI 1726:2019

3.7 Capacity Spectrume Methode (CSM)

Capacity Spectrume Methode atau metode spektrum kapasitas merupakan salah satu metode analisis kinerja struktur yang sering digunakan, metode ini berdasarkan dari *Applied Technologi Council-40* (ATC-40). Metode ini menggunakan grafik dengan parameter hubungan antara gayageser dasar dengan perpindahan maksimum yang terjadi pada titik yang ditinjau dan dengan *spektrum demand* menggambarkan besarnya kebutuhan kinerja struktur akibat beban lateral yang dibebankan secara statik. Titik yang berpotongan itu lah merupakan titik performa kinerja struktur, titik performa kinerja struktur merupakan hasil dari dua kondisi, yaitu:

1. Nilai skurva kapasitas merupakan kekuatan struktur pada suatu nilai *displacement* tertentu,
2. Terletak pada kurva kebutuhan, menunjukkan bahwa titik performa kinerja struktur dapat memenuhi kebutuhan beban yang dibebankan.



Gambar 3. 6. Spektrum Kapasitas : (a) Kurva Pushover, (b) Konversi kurva pushover menjadi kurva diagram, (c) konversi spektrum respons elastic menjadi kurva Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS), (d) Penentuan titik kinerja. (ATC-40)

Sumber :Irawan (2013)

Penggambaran grafik sebuah perilaku bangunan karena beban lateral yang dibebankan pada grafik digambarkan cukup jelas. Hal ini membuat peneliti dapat membuat penyesuaian kinerja struktur yang dibutuhkan dengan cara mengubah kekakuan bangunan apabila perencana atau peneliti ingin membuat optimalisasi desain suatu struktur.

3.7.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas adalah kurva yang ditentukan nilainya berdasarkan konversi dari kurva *pushover*. Kurva kapasitas ini nilainya berdasarkan hubungan antara nilai gaya lateral total yang diberikan pada struktur terhadap perpindahan yang terjadi akibat gaya lateral yang dibebankan. Pada kurva *pushover* beban lateral dibebankan pada struktur yang mempunyai derajat kebebasan lebih dari satu, hal ini berbeda dengan kurva *demand*, kurva *demand* nilai parameternya ditentukan berdasarkan hubungan beban lateral pada struktur yang mempunyai derajat kebebasan satu dengan perpindahan titik yang ditinjau. Oleh karena itu pada analisis *pushover* kurva kapasitas harus diubah terlebih dahulu menjadi spektrum kapasitas agar satuannya sama dengan spektrum *demand*. Nilai spektrum *demand* dapat ditentukan dengan mengkonversi respon spektrum yang umumnya dinyatakan dalam hubungan kecepatan \dot{S}_a dan periode (T) menjadi spektral percepatan S_a dan spektral perpindahan S_d . Perubahan parameter S_a dengan periode menjadi S_a dengan S_d ini disebut *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3-20)$$

$$S_d = \frac{\Delta}{PF_1 \alpha_1} \quad (3-21)$$

Keterangan :

PF_1 = faktor partisipasi ragam untuk ragam 1

α_1 = koefisien massa ragam untuk ragam 1

V = gaya geser dasar pada struktur

W = massa struktur

Δ = perpindahan titik yang ditinjau

S_a = spektral percepatan

S_d = spektral perpindahan

3.7.2 Kurva Demand

Analisis *pushover* menggunakan kurva *demand* sebagai beban gempa rencana yang akan dibebankan, pada umumnya beban rencana gempa menggunakan kurva respon spektrum yang dinyatakan dalam hubungan percepatan (S_a) dengan periode struktur (T). sama dengan kurva *capacity* yang sebelumnya, kurva *spektrum demand* merupakan konversi parameter kurva spektrum menjadi kurva *Acceleration-Displacement Response Spectra*. Konversi ini mengubah parameter periode menjadi perpindahan (S_d). Hubungan antara S_a , S_d dan T dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T = 2\pi\sqrt{S_a/S_d} \quad (3-22)$$

$$S_d = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_a \quad (3-23)$$

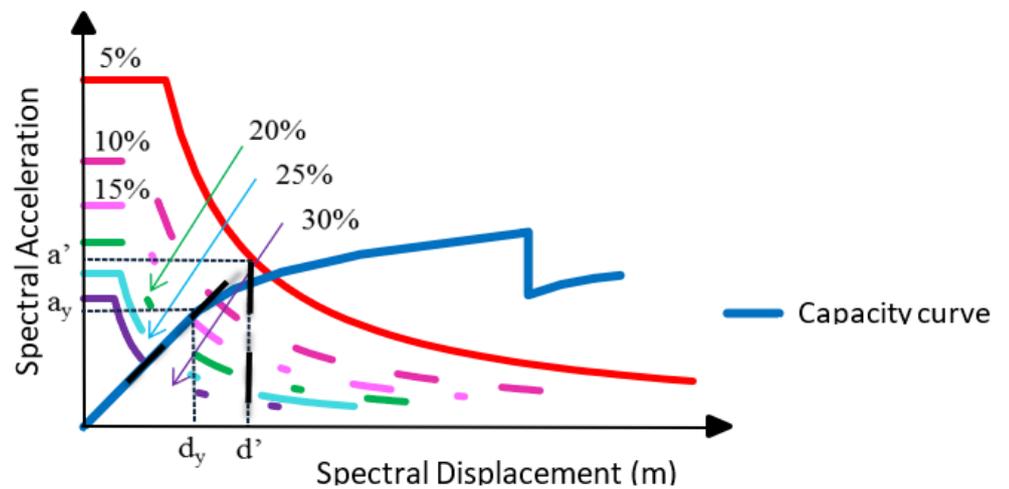
Kurva respon spektrum yang sudah dikonversi menjadi kurva *demand* dengan format ADRS ini nilainya harus direduksi untuk dapat menentukan nilai titik performa pada struktur yang dilakukan analisis.

3.7.3 Titik Performa Struktur

Setelah dilakukan reduksi nilai kurva *demand* dengan nilai reduksi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dapat diperoleh nilai titik performa struktur, berikut langkah-langkah penentuan titik performa struktur

1. Plot diagram kurva kapasitas yang sudah diubah menjadi format kurva ADRS dengan diagram kurva *demand* yang sudah menggunakan format ADRS dan nilainya sudah direduksi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% seperti pada gambar 3.6 berikut.
2. Pada kurva kapasitas buat garis lurus terhadap garis kurva kapasitas hingga garis lurus tersebut memotong kurva *demand* dengan reduksi 5%. Titik simpangan antara garis lurus dan dengan garis kurva kapasitas merupakan titik nilai a_y dan d_y , pada titik perpotongan

garis lurus kurva kapasitas dengan kurva *demand* reduksi 5% merupakan hubungan antara nilai a' dan d' . kedua titik tersebut lalu dibuat garis lurus menuju sumbu $X=0$ dan sumbu $Y = 0$ sehingga dapat ditentukan nilai a_y , d_y , a' dan d' . Gambar penentuan nilai a_y , d_y , a' dan d' lebih lanjut dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. 7. Kurva untuk analisis performance point

Sumber :Irawan (2013)

3. Menghitung nilai redaman efektif dengan persamaan berikut

$$Post\ yield\ slope = \frac{a' - a_y}{d' - d_y} \tag{3-24}$$

Untuk pada titik a_{pi} dan d_{pi} , garis paska elastik nilainya ditentukan oleh persamaan berikut ini

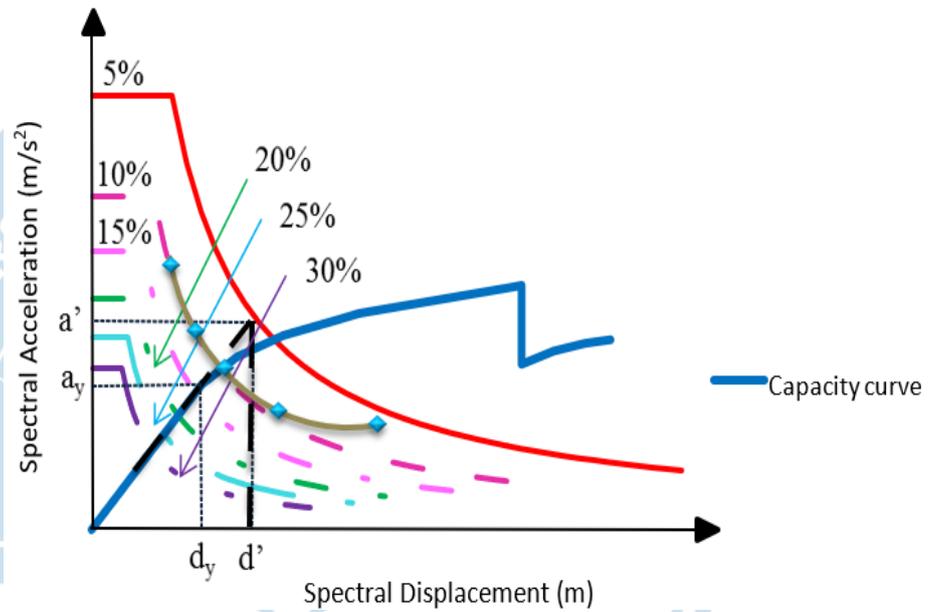
$$Post\ yield\ slope = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \tag{3-25}$$

Keterangan

a_{pi} , d_{pi} = trial performance point

nilai a_{pi} dan d_{pi} $0,95d_{pi} \leq d' \leq 1,05d_{pi}$

4. Plot dan hubungkan titik-titik tersebut kedalam kurva format ADRS hingga membentuk garis, perpotongan garis tersebut dengan kurva kapasitas merupakan *performance point*.



Gambar 3. 8. Kurva *performance point*

Sumber :Irawan (2013)