

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 METODE PERENCANAAN BANGUNAN**

##### **3.1.1 Metode Perencanaan Bangunan Berbasis Kekuatan**

Konsep ini diterjemahkan dalam suatu metode desain kapasitas, dimana pengendalian pola keruntuhan struktur dilakukan melalui pemanfaatan sifat daktail dari struktur secara maksimal. Pendekatan ini mengandalkan kekuatan, kekakuan dan daktilitas struktur. Metode desain kapasitas mengontrol pola keruntuhan struktur daktail dengan merencanakan lokasi dan tipe sendi plastis yang boleh terjadi pada struktur, sehingga tidak membahayakan komponen struktur lain yang dianggap lebih penting.

Analisis struktur pada metode *strength based design* bekerja pada daerah elastis dari elemen struktur yang biasa dikenal dengan analisis linear. Pada analisis struktur linear tidak dapat menampilkan fenomena-fenomena penting yang mengontrol daya guna suatu struktur terhadap kejadian gempa kuat yang mengakibatkan struktur tidak bersifat elastik lagi. Perilaku non-linear ini yang menyebabkan penyebaran energi dari gerakan gempa, karena pada titik tersebut sudah mencapai kapasitasnya atau telah muncul sendi plastis yang kemudian akan hancur (*collapse*) (Wisnumurti dkk, 2008).

##### **3.1.2 Metode Perencanaan Bangunan Berbasis Kinerja**

Metodologi yang didasarkan pada *performance based design* ini merupakan kriteria desain dan evaluasi yang diekspresikan sebagai objektivitas dari daya guna struktur. Hal tersebut dapat menetapkan berbagai tingkatan kinerja struktur (*multiple performance objective level*), dimana tingkatan kinerja (*performance*) dari struktur bangunan merupakan pilihan yang dapat direncanakan pada tahap awal dengan berbagai kondisi batas. Kondisi batas ini bersifat fleksibel, karena merupakan kesepakatan dari pihak pemilik bangunan (*owner*) dan perencana.

Tujuan utama dari *performance based design* ialah mencitakan bangunan tahan gempa yang daya gunanya dapat diperkirakan.

*Performance based design* mempunyai dua elemen utama dalam perencanaannya yaitu kapasitas struktur (*capacity*) dan beban (*demand*). Beban (*demand*) merupakan representasi dari gerakan tanah akibat gempa bumi, dimana yang akan digambarkan sebagai kurva respon spektrum. Kapasitas struktur adalah kemampuan dari struktur untuk menanggulangi gaya gempa tanpa mengalami kerusakan. Salah satu analisis yang dapat menggambarkan kapasitas struktur secara keseluruhan adalah analisis *pushover*. Dari analisis *pushover* didapatkan suatu *performance point* yang merupakan perpotongan antara kurva *demand* dan kurva *capacity*. *Performance point* merupakan estimasi dimana kapasitas struktur mampu menahan beban (*demand*) yang diberikan. Dari titik kinerja (*performance point*) ini dapat diketahui tingkat kerusakan struktur berdasarkan perpindahan lateralnya (*drift*). (Wisnumurti dkk, 2008)

### **3.2 METODE ANALISIS STRUKTUR TERHADAP BEBAN GEMPA**

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012) menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta sebagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat terbesar selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Dalam SNI 1726:2012, ditentukan jenis struktur gedung beraturan dan tidak beraturan.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh Gempa Rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen. Sedangkan, untuk gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara analisis respon riwayat waktu (*time history*) yang dapat digunakan pada struktur elastik maupun inelastik, dan analisis ragam spektrum (*response spectrum*) yang hanya dipakai untuk struktur elastik.

Menurut Pawirodikromo, W. (2012), analisis dinamik *time history* merupakan metode yang paling akurat, tetapi memerlukan hitungan yang banyak dan waktu yang lama. Oleh karena itu, untuk keperluan praktis di lapangan digunakan analisis statik ekuivalen yang merupakan penyederhanaan dari analisis dinamik. Namun analisis statik ekuivalen hanya diperbolehkan untuk bangunan yang reguler horisontal maupun vertikal (SNI 1726:2012). Salah satu ciri bangunan reguler adalah ketinggian tidak lebih dari 40 meter atau 10 tingkat yang diukur dari taraf penjepitan lateral. Gaya gempa rencana pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 40 meter atau 10 tingkat harus dihitung menggunakan analisis dinamik (SNI 1726:2002).

Perbedaan utama antara konsep statik dan dinamik adalah pada karakteristik bangunan yang diperhitungkan dalam analisis. Konsep dinamik memperhitungkan massa, kekakuan dan redaman, sedangkan konsep statik hanya memperhitungkan massa saja. Selain itu, prinsip statik ekuivalen hanya memperhitungkan mode ke 1 saja, sehingga hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku atau bangunan rendah (Widodo, 2001).

Nasution, F dan Teruna, DR (2013) membandingkan respons parameter berupa *base shear* dan *displacement* dari struktur beraturan dan tidak beraturan 7 tingkat, yang dianalisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik spektrum respons, menggunakan software SAP 2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *base shear* dan *displacement* tidak berbeda jauh antara hasil analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik ragam respon spektra. Kesimpulan yang diperoleh adalah analisis statik ekivalen masih dapat digunakan pada bangunan 7 tingkat, namun lebih akurat dianalisis secara dinamik.

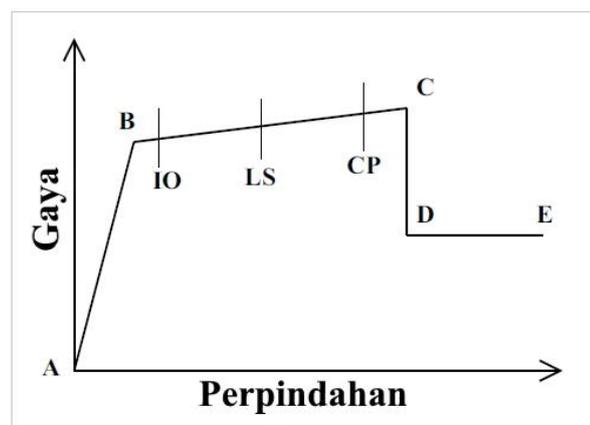
Wantalantie, R.O.F (2016) membandingkan analisa statik dan dinamik gedung bertingkat banyak akibat gempa berdasarkan SNI 1726:2012 dengan variasi jumlah tingkat. Kesimpulan yang diperoleh adalah hasil *displacement* dan *base shear* dengan analisa gaya lateral statik ekivalen selalu lebih besar dibandingkan dengan analisa spektrum respons raga pada ketiga model portal. Oleh karena itu, hasil analisa gaya lateral ekivalen lebih aman jika digunakan untuk penerapan pembebanan gaya gempa dalam perhitungan struktur. Walaupun analisa spektrum

respons ragam merupakan gempa yang lebih akurat dan mendekati keadaan sebenarnya.

### 3.3 SENDI PLASTIS

Apabila struktur gedung menerima beban lateral atau beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok dan kolom pada struktur tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam sehingga mengakibatkan terjadinya *displacement*. Jumlah dan perkiraan letak sendi plastis yang telah kritis dapat diketahui pada bagian mana dengan analisis *pushover*. Sehingga pada bagian tersebut dapat dievaluasi atau didesain ulang agar dapat menahan beban yang ada.

Pemodelan sendi plastis digunakan untuk mendefinisikan perilaku non liner atau momen rotasi yang dapat ditempatkan pada pada balok atau kolom struktur. Pemodelan sendi berupa rigid. Pada penelitian ini, analisis sendi plasis dilakukan secara *auto* dan *default* pada program SAP2000. Dalam analisis elemen kolom menggunakan tipe *default* – PMM dimana kolom mendapat gaya aksial dan momen, sedangkan balok tipe *default* – M3 dimana balok menahan momen pada sumbu kuat. Kurva hubungan gaya dan perpindahan terhadap nilai kriteria kinerja untuk *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, serta *Collapse Prevention*, merupakan yang diambil berdasarkan ATC-40 (1997) ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kurva hubungan gaya dan perpindahan terhadap kinerja struktur (Sumber : ATC-40)

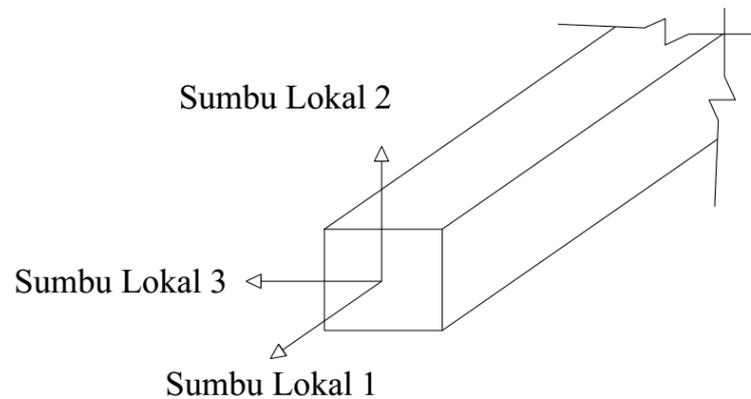
Notasi A, B, IO, LS, CP, C, D dan E adalah titik kontrol perpindahan yang memberikan informasi kinerja struktur. Pada interval A ke B merupakan batas dari kondisi elastik. Pada interval B ke C, terdapat titik-titik IO, LS dan CP yang menyatakan tingkat kinerja dari struktur tersebut. Sedangkan titik C mewakili kapasitas ultimit, D mewakili kekuatan sisa dan titik E mewakili kegagalan total. Tingkat kinerja struktur dijelaskan sebagai berikut:

1. *Operation* / Operasi. Pada level ini bangunan dapat berfungsi dengan baik, tidak terdapat kerusakan berarti pada komponen struktural maupun nonstruktural.
2. *Immediate Occupancy (IO)* / Segera difungsikan. Ditandai dengan kerusakan kecil pada struktur bangunan. Resiko korban jiwa sangat rendah dan mungkin dibutuhkan sedikit perbaikan pada struktur akan tetapi secara umum bangunan dapat segera digunakan kembali.
3. *Life Safety (LS)* / Keselamatan pengguna. Ditandai dengan adanya kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, tetapi tidak mengalami keruntuhan parsial ataupun total. Korban jiwa mungkin ada akan tetapi dalam jumlah yang sedikit. Struktur tetap bisa diperbaiki walaupun secara ekonomi mungkin tidak menguntungkan.
4. *Collapse Prevention (CP)* / diambang keruntuhan. Ditandai dengan adanya kerusakan yang parah pada struktur. Setelah terjadi gempa, struktur berada diambang keruntuhan baik sebagian ataupun keseluruhan. Bagaimanapun, struktur harus tetap mampu menahan beban gravitasi. Korban jiwa yang cukup signifikan akibat reruntuhan puing bangunan. Pada level ini struktur tidak memungkinkan lagi untuk diperbaiki.

### **3.3.1 Hinge Properties Pada Balok**

Data *hinge properties* dimasukkan pada daerah tumpuan balok, karena pada lokasi tersebut sendi plastis diharapkan terjadi. Sendi plastis ini dimasukkan hanya untuk M3 yang artinya sendi plastis hanya terjadi pada momen searah sumbu lokal

3 saja, karena pada struktur balok yang menentukan adalah kegagalan lentur. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 3.2.

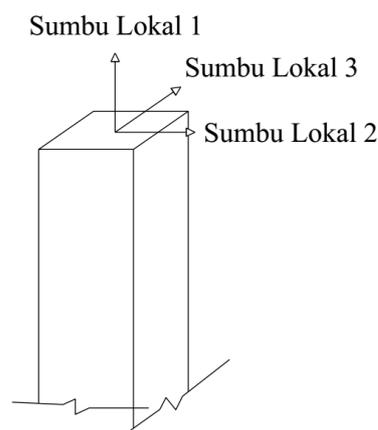


Gambar 3.2 Posisi sumbu lokal balok struktur.

(Sumber : Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 Edisi Baru 2007, Wiryanto Dewobroto)

### 3.3.2 Hinge Properties Pada Kolom

Data *hinge properties* untuk kolom adalah P-M2-M3, yang artinya bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen terhadap sumbu lokal 2 (M2) dan sumbu lokal 3 (M3), hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Posisi sumbu lokal kolom struktur

(Sumber : Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 Edisi Baru 2007, Wiryanto Dewobroto)

### 3.3.3 Penentuan Letak Sendi Plastis

Pada SAP2000 setelah data *hinge properties* pada elemen balok dan kolom dimasukkan selanjutnya menentukan letak terjadinya sendi plastis. Lokasi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok dan sama halnya dengan kolom.

### 3.4 PEMBEBANAN

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur bangunan, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Beban-beban yang digunakan dalam perancangan adalah kombinasi dari 3 beban yaitu :

1. Beban Mati (*Dead Load / DL*)

Beban mati adalah beban dari semua elemen gedung yang bersifat permanen termasuk peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung. Jenis-jenis beban mati pada gedung ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis beban mati pada gedung

No.	Jenis Beban Mati	Berat	Satuan
1	Baja	7,85	t/m <sup>3</sup>
2	Beton	2,2	t/m <sup>3</sup>
3	Pasangan batu kali	2,2	t/m <sup>3</sup>
4	Mortar, spesi	2,2	t/m <sup>3</sup>
5	Beton bertulang	2,4	t/m <sup>3</sup>
6	Pasir	1,6	t/m <sup>3</sup>
7	Dinding pasangan bata ½ batu	0,25	t/m <sup>2</sup>
8	Langit-langit dan penggantung	0,02	t/m <sup>2</sup>
9	<i>Finishing</i> lantai (tegel atau keramik)	2,2	t/m <sup>3</sup>
10	Instalasi plumbing (ME)	0,025	t/m <sup>2</sup>
11	Penutup atap genteng	0,05	t/m <sup>2</sup>

(Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987

## 2. Beban Hidup (*Live Load / LL*)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Besarnya beban hidup lantai bangunan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jenis beban hidup pada gedung

No.	Jenis Beban Hidup	Berat	Satuan
1	Dak atap bangunan	0,1	t/m <sup>2</sup>
2	Rumah tinggal	0,2	t/m <sup>2</sup>
3	Kantor, sekolah, hotel, pasar, rumah sakit	0.25	t/m <sup>2</sup>
4	<i>Hall, tangga, Corridor, balcony</i>	0,3	t/m <sup>2</sup>

(Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987 halaman 12)

## 3. Beban Gempa

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor utamanya adalah benturan / gesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini disebut *fault zone*. Kejutan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan dari massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia, besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor, yaitu:

- 1) Massa bangunan
- 2) Pendistribusian massa bangunan
- 3) Kekakuan struktur
- 4) Jenis tanah
- 5) Mekanisme redaman dari struktur

- 6) Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- 7) Wilayah kegempaan
- 8) Periode getar alami

### 3.5 DINDING GESER

Dinding geser dari beton bertulang adalah elemen struktur vertikal yang biasa digunakan pada gedung bertingkat banyak yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang berasal dari beban gempa dan angin. Struktur bangunan dengan dinding geser merupakan salah satu konsep solusi masalah gempa dalam bidang teknik sipil yaitu sebagai substruktur yang menahan gaya geser akibat beban gempa dan angin.

Secara umum fungsi dari dinding geser atau *shearwall* adalah sebagai berikut:

1. Memperkokoh gedung  
Dengan struktur dinding beton bertulang, maka *shearwall* atau dinding geser bukan hanya sebagai penyekat ruangan tetapi berfungsi juga sebagai struktur bangunan yang memikul gaya beban yang bekerja pada balok dan kolom sekitarnya.
2. Meredam guncangan akibat gempa  
Saat terjadi gempa, dinding geser akan mereduksi guncangan yang terjadi, sehingga mampu mengurangi kerusakan gedung.
3. Mengurangi biaya perawatan gedung  
Dengan semakin kuatnya gedung yang menggunakan *shearwall*, maka kerusakan-kerusakan yang timbul akibat guncangan gempa bisa diminimalisir sehingga akan mengurangi biaya perawatan yang seharusnya dikeluarkan apabila gedung tidak menggunakan *shearwall*.
4. Daya pikul beban di sekitar dinding mampu ditingkatkan  
Dengan *shearwall* maka kemampuan lantai beton di atasnya untuk menerima beban semakin naik, besarnya kekuatan lantai akan berbanding lurus dengan ketebalan *shearwall* itu sendiri.

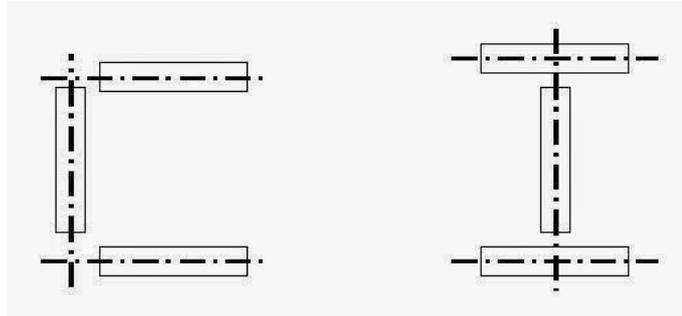
Dalam struktur bertingkat, dinding geser sangat penting, karena dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Dalam prakteknya dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka penahan momen pada gedung. Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifatnya tersebut digabungkan. Dari gabungan keduanya diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis.

### **3.5.1 Prinsip Penempatan Dinding Geser**

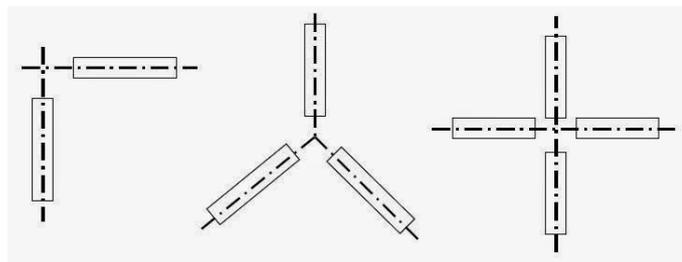
Sebuah struktur bangunan tinggi dapat didefinisikan sebagai bangunan yang sistem strukturnya mampu menahan gaya-gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin didalam kriteria terhadap kekuatan, simpangan dan kenyamanannya. Pada bangunan tinggi, dinding geser adalah bentuk struktur yang dapat menahan gaya gempa dan angin. Stabilitas bangunan tinggi diterima oleh dinding geser. Untuk dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa atau angin maka dinding geser harus dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Dalam sebuah bangunan paling sedikit terdapat tiga buah dinding geser sebagai penahan gaya lateral
- Garis pengaruh dari dinding geser tersebut tidak boleh berpotongan pada satu titik

Dinding geser yang memenuhi syarat-syarat diatas akan memberikan stabilitas yang baik pada bangunan berlantai banyak. Apabila desain perletakan dinding geser tidak sesuai dengan syarat-syarat tersebut, maka dinding geser tidak berfungsi dengan baik dalam menahan gaya lateral. Dinding geser yang memenuhi syarat dan tidak memenuhi syarat dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 berikut.



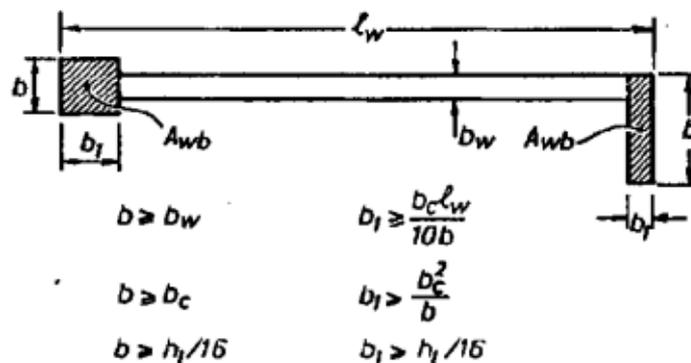
Gambar 3.4 Susunan *shearwall* yang memenuhi syarat



Gambar 3.5 Susunan *shearwall* yang tidak memenuhi syarat

### 3.5.2 Konsep Perencanaan Dimensi Dinding Geser

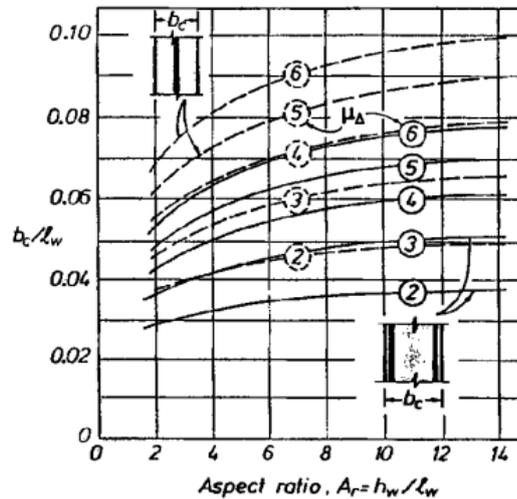
Asumsi yang dapat dilakukan terhadap dinding geser untuk menghindari tekuk adalah memperlakukannya sebagai kolom, dimana dimensi dinding geser dengan komponen batas (*boundary element*) perlu dibatasi sesuai Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Dimensi minimum dinding geser

(Sumber : *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Paulay and Priestly 1992)

dimana nilai  $b_c$  didapat dari hubungan antara ketebalan kritis dinding geser ( $b_c$ ) dan daktilitas *displacement* ( $\mu_\Delta$ ) sesuai Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hubungan antara  $b_c$  dan  $\mu_\Delta$

(Sumber : *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Paulay and Priestly 1992)

yang mana  $l_w$  adalah panjang dinding geser dan  $\mu_\Delta$  merupakan faktor daktilitas desain yang diambil  $\leq 5$ . Untuk memenuhi kriteria stabilitas semua persyaratan yang terdapat pada Gambar 3.2 harus terpenuhi dan luasan *boundary element* ( $A_{wb}$ ) harus memenuhi syarat sesuai persamaan ..

$$b_c^2 \leq A_{wb} \geq b_c l_w / 10 \quad (3-1)$$

### 3.6 ANALISIS PERENCANAAN TERHADAP GEMPA (SNI 1726:2012)

#### 3.6.1 Gempa Rencana

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

#### 3.6.2 Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan berkaitan dengan tingkat risiko yang diperbolehkan pada bangunan yang direncanakan sesuai peruntukannya. Penentuannya dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kategori risiko bangunan dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah, unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Lanjutan Tabel 3.3 Kategori risiko bangunan dan non gedung untuk beban gempa

<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 halaman 14)

### 3.6.3 Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Nilai  $I_e$  didapat berdasarkan kategori risiko bangunan seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 15)

### 3.6.4 Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi Situs ditentukan mengikuti Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Klasifikasi situs

Kelas Situs	$V_s$ (m/detik)	N atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25\text{kPa}$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ mm dengan $S_u < 50$ kPa		

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 17)

### 3.6.5 Parameter Percepatan Gempa

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3-2)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3-3)$$

Keterangan :

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

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

Koefisien situs pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan getaran periode 1 detik ( $F_v$ ) ditentukan mengikuti Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Faktor amplikasi percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektra percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
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 1726:2012 halaman 22)

**CATATAN :**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $SS^b$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 3.7 Faktor amplikasi percepatan pada getaran periode 1 detik ( $F_v$ )

Kelas Situs	Parameter respons spektra percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan				
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l \geq 0,5$
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 1726:2012 halaman 22)

**CATATAN :**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_l$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $SS^b$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

### 3.6.6 Parameter Percepatan Spektra Desain

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-5)$$

### 3.6.7 Spektrum Respons Desain

Adapun ketentuan dalam mendesain spektrum respons adalah sebagai berikut :

1. Untuk periode yang kecil dari  $T_o$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \quad (3-6)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \left( \frac{S_{D1}}{T} \right) \quad (3-7)$$

Keterangan :

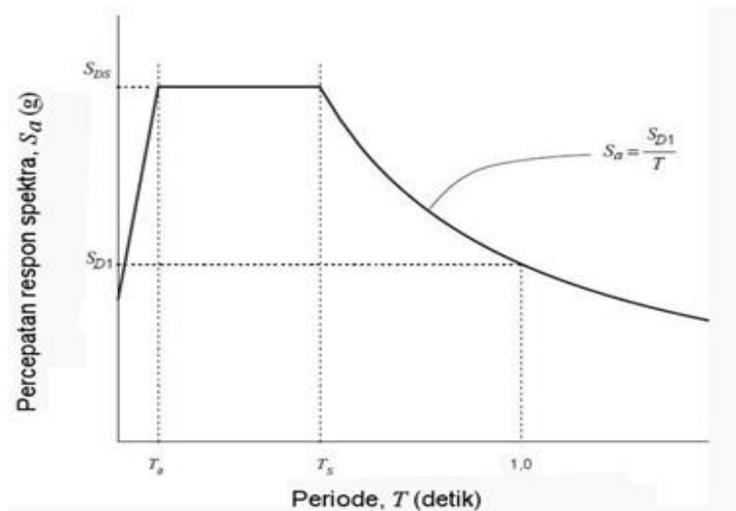
$S_{DS}$  = parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek

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

$T$  = periode getar fundamental struktur

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

Grafik spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Spektrum respon desain

### 3.6.8 Kategori Desain Seismik

Semua struktur bangunan harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismic berdasarkan kategori risiko bangunan serta nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , sesuai Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon 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
$0,50 < S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 24)

Tabel 3.9 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 25)

### 3.6.9 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diijinkan. Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Penahan Beban Lateral dapat mengikuti Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan beban lateral

Sistem Penahan Beban Lateral		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Kategori Desain Seismik					
					A	B	C	D	E	F
Dinding Penumpu	Dinding geser beton biasa	4	2,5	4	TB	TB	TB	X	X	X
	Dinding geser beton khusus	5	2,5	5	TB	TB	TB	48	48	30
Sistem Rangka Gedung	Dinding geser beton biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TB	X	X	X
	Dinding geser beton khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	18	18	30
Sistem Rangka Pemikul Momen	Sistem rangka pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TB	X	X	X	X
	Sistem rangka pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TB	X	X	X
	Sistem rangka pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 34)

### 3.6.10 Periode Fundamental Struktur ( $T$ )

Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ). Periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , dan periode fundamental batas atas  $T_{maks}$  dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-8)$$

$$T_{maks} = C_u T_a \quad (3-9)$$

Keterangan :

$H_n$  = Ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi (m)

$C_u$  = Koefisien periode batas yang ditentukan dari Tabel 3.11

$C_t$  dan  $x$  = Koefisien parameter pendekatan yang ditentukan dari Tabel 3.12

Tabel 3.11 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, $S_{DI}$	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 halaman 56)

Tabel 3.12 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$X$
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 dari defleksi jika dikenai beban 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 terkekakng terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI 1726:2012 halaman 56)

Untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m, periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = 0,1N \quad (3-10)$$

Keterangan :

$N$  = jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau beton, periode fundamental pendekatan ditentukan,  $T_a$ , dari persamaan berikut :

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (3-11)$$

Dimana  $h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan  $C_w$  dihitung sesuai persamaan berikut :

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left( \frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (3-12)$$

Keterangan :

- $A_B$  = luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )
- $A_i$  = luas badan dinding geser “I”, dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )
- $D_i$  = panjang dinding geser “i”, dinyatakan dalam meter (m)
- $h_i$  = tinggi dinding geser “i”, dinyatakan dalam meter (m)
- $x$  = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau

Selanjutnya dalam menghitung periode getar alami dapat menggunakan rumus pada persamaan (3-8) atau persamaan (3-10), dapat juga menggunakan analisis SAP. Apabila periode getar dihitung menggunakan analisis SAP ( $T_c$ ), maka harus digunakan batasan perioda struktur pada Tabel 3.11, dimana batasan ini hanya berlaku jika T dihitung dari analisis komputer yang “*substantiated*”.

Adapun syarat untuk menentukan perioda getar alami (disajikan pada Gambar 3.6) yang akan digunakan, yaitu :

1. Jika  $T_c > C_u.T_a \rightarrow$  gunakan  $T = C_u.T_a$
2. Jika  $T_a < T_c < C_u.T_a \rightarrow$  gunakan  $T = T_c$
3. Jika  $T_c < T_a \rightarrow$  gunakan  $T = T_a$

### 3.6.11 Geser Dasar Seismik ( $V$ )

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

$$V = C_s \cdot W \quad (3-13)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismic

$W$  = berat seismic efektif

### 3.6.12 Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Koefisien respons seismic,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-14)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan (3-14) tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-15)$$

$C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,44S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3-16)$$

### 3.6.13 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateran ( $F_i$ ) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_i = C_{vx}V \quad (3-17)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-18)$$

Keterangan :

$F_i$  = gaya horizontal gempa (ton)

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atas geser di dasar struktur ( $W$ ) (ton)

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismic 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  $x$  (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur :

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau kurang,  $k = 2$

untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus diambil sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

### 3.6.14 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (ton) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-19)$$

Keterangan :

$F_i$  = bagian dari geser seismic  $V$  yang timbul di tingkat  $i$  (ton)

### 3.7 ANALISIS STATIK NON-LINIER (*PUSHOVER ANALISYS*)

Analisis statik non-linier *pushover* merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Analisis *pushover* juga digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan program komputer untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Beberapa program komputer komersil yang tersedia adalah SAP2000, ETABS, GTStrudle, dan Adina. Dasar dari analisis *pushover* sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis, dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Analisa *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar atau *base shear* ( $V$ ) dengan perpindahan titik acuan pada atap atau *roof displacement* ( $D$ ). Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami sendi plastis disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinier) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

Menurut Wiryanto (2006), analisa *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu:

1. Hasil analisa *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisa *pushover* adalah statik monotonik.
2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisa adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisa nonlinier akan lebih rumit dibanding model analisa linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting.

Analisis *pushover* memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis maupun desain, tetapi merupakan suatu langkah maju dengan memperhitungkan karakteristik respons non-linier yang dapat dipakai sebagai ukuran *performance* suatu bangunan pada waktu digoncang gempa kuat.

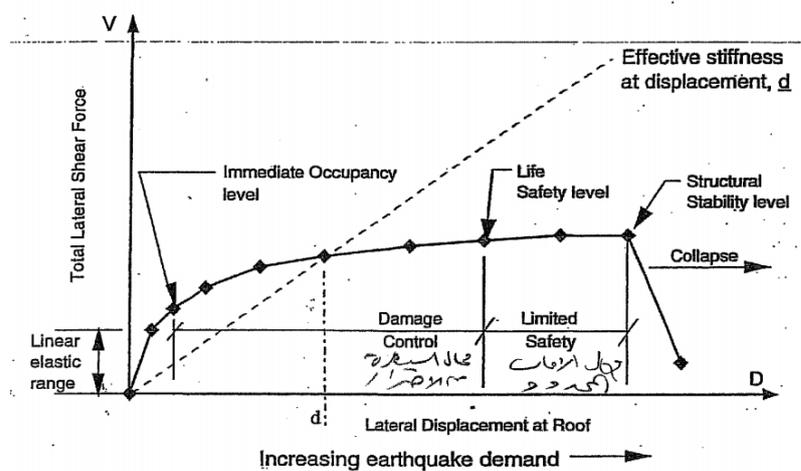
Analisis *pushover* dilakukan dalam 2 tahap yaitu pembebanan gravitasi kemudian dilanjutkan dengan pembebanan lateral. Pembebanan gravitasi diberikan secara bertahap yang besarnya meningkat sampai tingkat beban yang didefinisikan. Selanjutnya pembebanan dilanjutkan dengan beban lateral yang besarnya meningkat secara bertahap sampai tercapai salah satu kondisi:

1. Displacement titik kontrol mencapai displacement target yaitu 2% dari total tinggi bangunan (SNI 1726:2012 pasal 7.12.1).
2. Bangunan tidak dapat mengalami displacement lebih lanjut akibat ketidakstabilan yang ditimbulkan sendi plastis.

Tahapan dalam melakukan analisis *pushover* adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan model komponen struktur yang akan dianalisis secara dua atau tiga dimensi.
2. Dimensi suatu kriteria *performance*, seperti batas ijin simpangan pada lantai atap pada titik sendi tertentu, dan lain-lain.
3. Pembebanan struktur dengan gaya gravitasi sesuai dengan rencana.
4. Pembebanan dengan pola beban statik tertentu yang didapatkan dari standar yang berlaku di masing-masing negara.

5. Penentuan titik kendali tertentu untuk memantau perpindahan, biasanya titik pada lantai atap.
6. Struktur didorong (*push*) dengan pola pembebanan yang ditentukan sebelumnya secara bertahap hingga mencapai batas ijin simpangan atau mencapai keruntuhan yang direncanakan.
7. Penggambaran kurva kapasitas, yaitu kurva hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada titik kendali, yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.



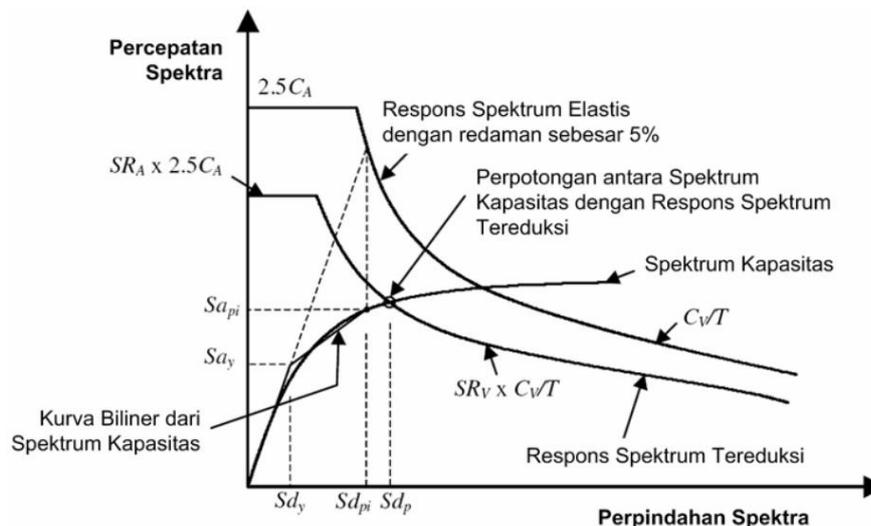
Gambar 3.9 Tipikal kurva kapasitas  
(Sumber : ATC 40, 1996)

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan untuk menentukan titik kinerja bangunan dengan analisis *pushover*. Dua cara yang cukup terkenal adalah *Displacement Coefficient Method* atau Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA 356/440) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Karena banyaknya komponen yang harus dievaluasi, maka analisis *pushover* dilakukan dengan bantuan program komputer. Dua metode tersebut telah *built-in* dalam program SAP2000. Dalam penelitian ini analisa *pushover* menggunakan metode ATC-40.

### 3.8.1 Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas (ATC-40) menggabungkan antara kurva kapasitas (*capacity curve*) dengan kurva kebutuhan (*demand spectrum*), terlihat

pada Gambar 3.10. Hubungan antara perpindahan lateral tiap lantai atap dan gaya geser dasar digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur dan dinamakan kurva kapasitas (*capacity curve*). Perpotongan kurva struktur dan kurva kebutuhan akan menghasilkan suatu titik yang disebut titik kinerja struktur (*performance point*).



Gambar 3.10 Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas  
(Sumber : Dewobroto, 2005)

Pada metode spektrum kapasitas terdapat tiga keadaan bangunan, yakni tipe A, B, dan C dengan batasan-batasan dari ketiga tipe bangunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Batasan tipe bangunan pada *Capacity Spectrum Method*

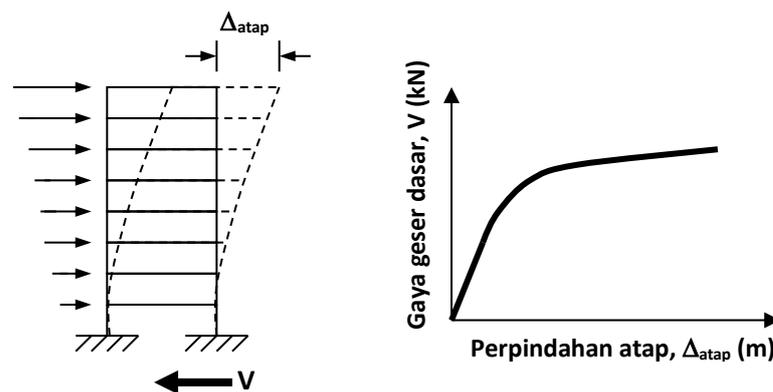
<i>Shaking duration</i>	<i>Essentially building</i>	<i>Average exiting building</i>	<i>Poor exiting building</i>
<i>Short</i>	A	B	C
<i>Long</i>	B	C	C

(Sumber : *Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City:ATC, 1996), Table 8-4, p.8-19*)

### 3.8.1.1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)

Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover* secara keseluruhan, bergantung pada kekuatan dan kemampuan deformasi elemen-elemen penyusunnya, seperti kolom dan balok. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan dengan pola pembebanan tertentu.

Kurva kapasitas terdiri dari tiga titik yakni titik awal, titik leleh dan titik ultimit. Pada analisis *pushover*, titik leleh diartikan sebagai gaya geser yang dibutuhkan untuk mencapai kapasitas komponen pada struktur bangunan. Sedangkan titik ultimit diartikan sebagai gaya geser yang terjadi pada komponen struktur setelah terjadi titik leleh sampai runtuh. Terdapat kemungkinan kapasitas gaya geser pada titik ultimit lebih rendah daripada kapasitas ada titik leleh. Namun, kapasitas gaya geser ultimit mewakili struktur yang lebih *flexible* yang memiliki *fundamental period* yang panjang dan dapat terjadi pada beberapa posisi yang diinginkan pada repons spektrum. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut:

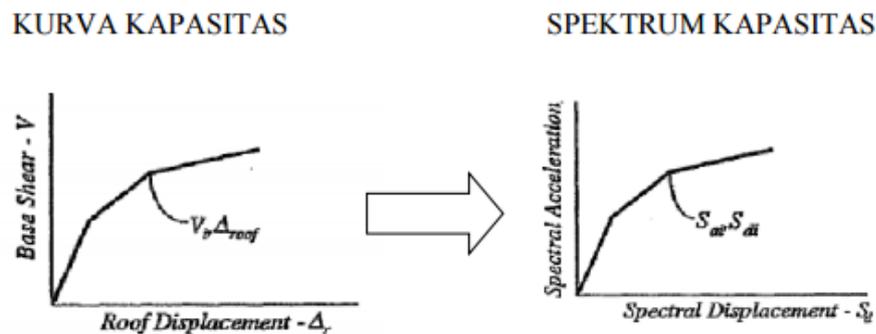


Gambar 3.11 Kapasitas gaya geser ( $V$ ) – roof displacement  $\Delta_{roof}$   
(Sumber : ATC-40, 1996)

Untuk mengetahui perilaku struktur yang ditinjau terhadap intensitas gempa yang diberukan, kurva kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan tuntutan (*demand*) kinerja yang berupa *response spectrum* berbagai intensitas (periode

ulang) gempa. Kurva kapasitas didapatkan dari analisis beban dorong staktik (*pushover analysis*) pada modelisasi struktur.

Karena kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom system*, MDOF) terhadap perpindahan yang dipilih sebagai referensi (umumnya puncak bangunan) sedangkan *demand spectrum* dibuat untuk struktur dengan kebebasan satu (*single degree of freedom system*, SDOF), maka kurva kapasitas dengan cara tertentu harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan *demand spectrum* seperti Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 Konversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas  
(Sumber : ATC-40, 1996)

Konversi kurva kapasitas hasil analisis beban dorong menjadi spektrum kapasitas menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$PF_1 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3-20)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[ \sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3-21)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3-22)$$

$$S_a = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof1}} \quad (3-23)$$

Dimana :

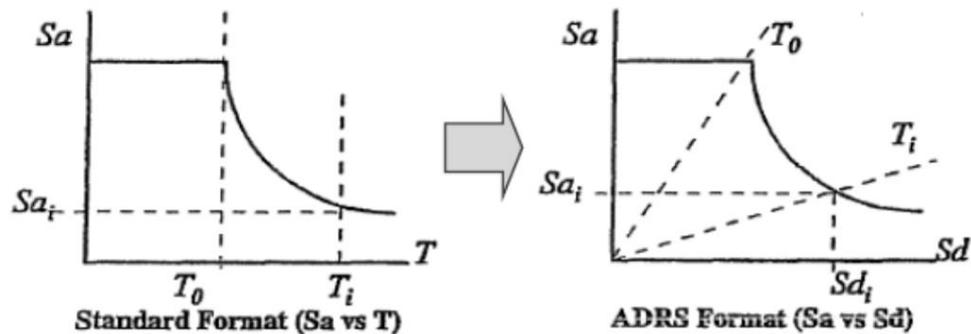
- $PF_1$  = *modal participation* untuk mode pertama
- $\alpha_1$  = *modal mass coefficient* untuk mode pertama
- $S_a$  = *spectrum acceleration*
- $S_D$  = *spectrum displacement*
- $\phi_{i1}$  = amplitud untuk mode pertama
- $V$  = gaya geser dasar
- $W$  = beban mati bangunan ditambah beban hidup tereduksi
- $\Delta_{\text{roof}}$  = *roof displacement*

### 3.8.1.2 Demand Spectrum

Spektrum *demand* didapatkan dengan mengubah respon spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektral kecepatan,  $S_a$ , dan Periode,  $T$ , menjadi format spektral percepatan,  $S_a$ , dan spektral perpindahan,  $S_d$ . Format yang baru ini disebut *Acceleration Displacement Response Spectra* (ADRS). Kurva kapasitas yang merupakan produk dari *pushover* dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan *demand spectrum* memiliki satuan percepatan ( $\text{m/detik}^2$ ) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan,  $S_a$ , dan spektral perpindahan,  $S_d$ , agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan. (Ginsar, I.M dan Lumantarna, B)

Untuk mengubah spektrum dari format standar  $S_a$  dan  $T$  ke format ADRS seperti pada Gambar 3.13, maka perlu ditentukan nilai  $S_{di}$  untuk setiap titik kurva, yaitu  $S_{ai}$  dan  $T_i$ . Hal ini dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (3-24)$$



Gambar 3.13 Konversi spektrum respon ke spektrum *demand*  
(Sumber : ATC-40, 1996)

Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program SAP2000 , proses konversi kurva pushover ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva respons spektrum.

### 3.8.1.3 Titik Kinerja (*Performance Point*)

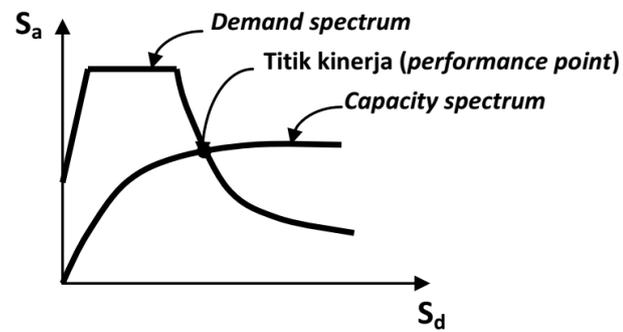
Titik kinerja merupakan perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana. Titik kinerja merupakan perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Dengan demikian titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi (Ginsar, I.M dan Lumantarna, B), yaitu:

1. Karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu.
2. Karena terletak pada kurva *demand*, menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* atau beban yang diberikan.

Pada titik kinerja dapat diperoleh informasi periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.

Dalam melakukan analisis *pushover* menggunakan program SAP2000 dengan metode spektrum kapasitas, SAP2000 secara otomatis akan menentukan

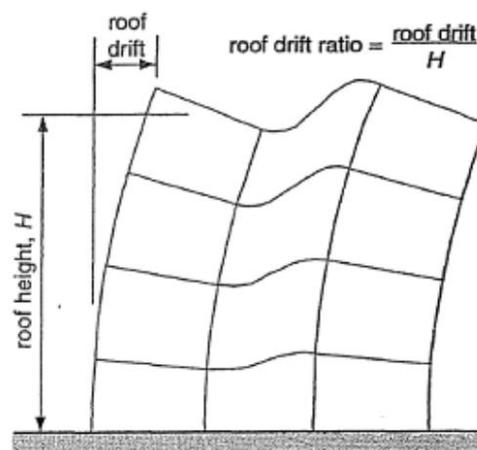
titik kinerja dari struktur yang ditinjau. Menentukan titik kinerja dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Titik kinerja pada hasil analisis *pushover*

#### 3.8.1.4 Simpangan Atap (*Roof Drift*)

Simpangan atap adalah simpangan yang terjadi pada atap gedung dari titik kontrol yang ditunjukkan Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Simpangan pada atap dan rasio simpangan pada atap  
(Sumber : ATC-40, 1996)