

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Desain dan analisis perilaku serta kinerja struktur berdasarkan konsep Performance Based Earthquake Engineering (PBEE) telah cukup sering dilakukan kajian di Indonesia meski masih dalam tahapan modeling, pada aplikasi riil dalam kaitan suatu proses tahapan desain disebabkan belum adanya ketentuan untuk melakukan tinjauan performance struktur hasil desain. Evaluasi sebagai performance struktur di Indonesia telah dilakukan pada beberapa gedung tinggi sebagai bagian dari tuntutan jaminan akan keselamatan terutama dari pihak owner untuk mengetahui sejauh mana tingkat keamanan yang dimiliki dari sebuah gedung.

Kebutuhan akan evaluasi kinerja struktur terutama struktur bangunan yang telah berdiri atau eksisting di masa depan akan menjadi tuntutan seiring dengan hasil riset-riset terbaru terhadap potensi bahaya gempa yang menunjukkan hasil perkiraan nilai percepatan muka tanah yang jauh berbeda, bahkan dengan peta wilayah gempa terbaru pada SNI 03 – 1726 – 2012.

Pada saat ini banyak dijumpai perencanaan struktur bangunan gedung yang hanya memperhitungkan beban gravitasi saja yang artinya gedung didesain tanpa memperhitungkan beban gempa, hal ini sangat berbahaya mengingat sebagian besar wilayah Indonesia masuk dalam kategori gempa dengan intensitas moderat hingga tinggi. Maka perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa menjadi sangat penting terutama untuk gedung yang didesain pada wilayah gempa 3,4,5,6 di Indonesia. (Yosafat Aji Pranata,2006)

Dengan dasar tersebut penulis ingin struktur bangunan MIPA Universitas Brawijaya Malang untuk mengetahui tingkat keamanan struktur bangunan dan kinerja seismik bangunan beton apabila terjadi gempa menggunakan metode *Pushover analysis* atau metode analisis static beban dorong.

Yosafat Aji Pranata (2006), Metode analisis statik beban dorong (static nonlinear/pushover analysis) merupakan suatu metode analisis, yang mana dari hasil analisis antara lain diperoleh informasi berupa kurva kapasitas. Kurva kapasitas menyatakan hubungan antara gaya geser dasar terhadap peralihan atap struktur bangunan gedung. Dari kurva kapasitas kemudian dapat ditentukan daktilitas peralihan aktual struktur, yang mana bergantung pada penentuan titik peralihan pada saat leleh pertama terjadi dan titik peralihan ultimit (target peralihan yang diharapkan).

2.1.1 Konsep Dasar Mekanisme Gempa

Perencanaan struktur gedung yang tahan terhadap beban gempa di negara indonesia sangatlah penting mengingat letak geologis indonesia yang berada pada lempeng Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik sehingga membuat posisi indonesia menjadi wilayah yang rawan gempa.

Salah satu penyebab adanya kegagalan struktur bangunan gedung di daerah yang berisiko mengalami gempa adalah beban horizontal (lateral) pada struktur. (Yosafat Aji Pranata,2006)

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi. Gempa bumi biasanya disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi), gempa bumi terjadi apabila tekanan yang terjadi karena pergerakan sudah terlalu besar untuk dapat ditahan. Gempa bumi terjadi setiap hari di bumi, namun kebanyakan kecil dan tidak menyebabkan kerusakan apa-apa. Gempa bumi kecil juga dapat mengiringi gempa bumi besar, dan dapat terjadi sebelum atau sesudah gempa bumi besar tersebut.

Bila gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa. Selanjutnya struktur bangunan akan merespons gempa tersebut. Struktur akan beresonansi memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya gempa lebih kecil dari gaya dalam struktur, maka struktur akan kuat dan aman menahan beban gempa. Sebaliknya bila gaya gempa lebih besar dari gaya dalam struktur, maka struktur tidak kuat dan tidak aman menahan beban gempa selanjutnya bisa jadi struktur runtuh.

2.1.2 Konsep Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan atau kegagalan struktur. Oleh karena itu dalam perencanaannya harus memenuhi beberapa kondisi batas, yaitu:

- a. Struktur bangunan yang direncanakan harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup sehingga bila terjadi gempa yang berkekuatan kecil struktur bersifat elastik.
- b. Bila terjadi gempa berkekuatan sedang, struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan struktural namun dapat mengalami kerusakan non struktural ringan.
- c. Pada saat terjadi gempa kuat, struktur bangunan dapat mengalami kerusakan struktural namun harus tetap berdiri sehingga korban jiwa dapat dihindarkan.

Maka dalam perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus diperhitungkan dampak dari gaya lateral, dalam hal ini gaya yang diakibatkan oleh gempa bumi yang bersifat siklis (bolak-balik) yang dialami oleh struktur. Adapun dalam perencanaan tersebut, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah joint atau elemen struktur tahan gempa seperti dinding geser atau yang biasa disebut shearwall.

Agar struktur-struktur bangunan dapat berdeformasi maksimum, maka perlu perancangan sendi-sendi plastis yang akan terjadi pada daerah-daerah yang dapat menunjang tujuan desain bangunan tahan gempa. Dalam perencanaannya, sendi sendi plastis terjadi pada kedua ujung balok-balok dan kaki kolom lantai dasar. Konsep struktur yang memiliki karakteristik seperti ini adalah konsep kolom kuatbalok lemah atau yang sering disebut sebagai “ strong column weak beam ”.

Melalui konsep struktur ini, maka pada saat mekanisme keruntuhan, sendi plastis akan terjadi pada balok terlebih dahulu baru pada tahap-tahap akhir plastis terjadi pada ujung-ujung bawah kolom. Hal ini dilakukan agar sejumlah besar sendi plastis terbentuk pada struktur secara daktail yang dapat memencarkan

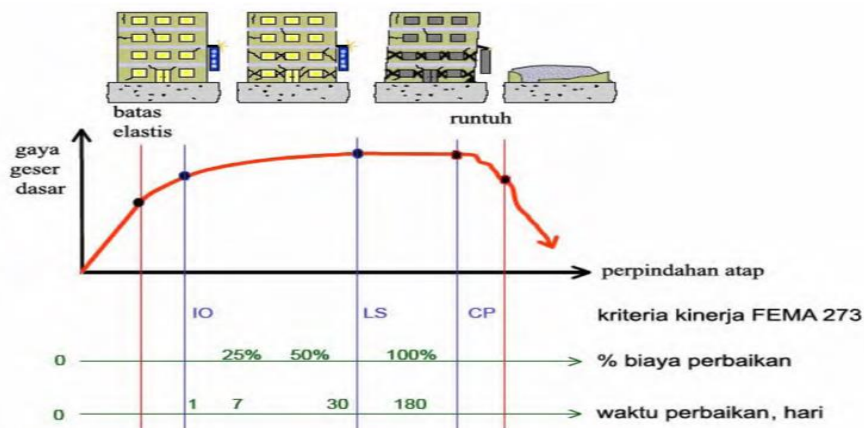
energy melalui proses pelepasan struktur dan diharapkan dapat menyerap beban gempa.

2.1.3 Performance Desain Struktur Bangunan

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (performance-based seismic design) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (upgrade) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (life), kesiapan pakai (occupancy) dan kerugian harta benda (economic loss) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (level of damage), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (life), kesiapan pakai (occupancy) dan kerugian harta benda (economic loss) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya ketentuan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya.



Gambar 2.1 Simulasi kinerja gedung terhadap beban gempa.

2.1.4 Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Acuan dalam perencanaan bangunan beton bertulang tahan gempa di Indonesia adalah Standar Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2012 tetapi SNI gempa 2012 tersebut sudah di revisi, telah di perbarui lagi yaitu SNI 03-1726-2013 seiring dengan munculnya peraturan terbaru seperti IBC dan ASCE dan Tata Cara Perhitungan Struktur beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013 (SNI Beton). Aturan detailing pada dasarnya diatur dalam SNI beton, detailing dibedakan berdasarkan tingkat kerawanan daerah terhadap gempa. Bangunan yang berada pada zona dengan resiko gempa yang tinggi harus direncanakan dengan menggunakan sistem struktur penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan detailing yang khusus atau memiliki tingkat daktilitas penuh.

Sistem rangka pemikul momen (SPRM) adalah sistem rangka dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. SPRM dapat di kelompokkan menjadi :

1. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah.
2. Sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), sistem ini sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan digunakan di daerah dengan resiko gempa sedang.
3. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), sistem ini memiliki tingkat daktilitas tinggi atau daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi.

Sistem dinding struktural adalah dinding yang di proporsikan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan oleh gempa. Suatu "dinding geser" pada dasarnya merupakan dinding struktural. Dinding struktural dapat dikelompokkan menjadi :

1. Dinding struktural Beton Biasa (SDSB), sistem dinding ini memiliki tingkat daktilitas terbatas dapat digunakan pada daerah resiko gempa rendah dan menengah.
2. Dinding struktural Beton Khusus (SDSK), sistem dinding ini memiliki tingkat daktilitas penuh atau tinggi, digunakan pada daerah dengan tingkat resiko tinggi.

Sedangkan untuk perencanaan berbagai macam elemen struktur penahan beba gempa lateral diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 23 tetapi pasal tersebut tidak berlaku untuk daerah dengan tingkat resiko rendah. Dalam hal ini struktur yang bersangkutan tidak perlu memenuhi ketentuan mengenai desain atau detail khusus. Ketentuan dalam pasal-pasal yang lain pada dasarnya telah cukup untuk memberikan tingkat ketahanan yang diperlukan struktur SRPMK dan SDSK pada kondisi intensitas tinggi.

Perilaku Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dalam memikul beban lateral pada dasarnya berbeda dengan dalam perilakunya menahan beban gravitasi. akibat beban lateral pola deformasi pada balok dan kolom cenderung membentuk titik belok di daerah tengah bentang balok dan kolom. SRPMK ini memiliki tingkat daktilitas tinggi atau daktilitas penuh, sistem ini harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi. Dan pada Sendi plastis terbentuk pada seluruh balok pemikul gempa, sebelum terjadi keruntuhan. Ciri-cirinya: ada detailing khusus untuk balok, kolom, dan joint balok-kolom. Syarat terjadinya sendi plastis ada 3 :

1. Balok tidak boleh mengalami kegagalan geser di daerah tumpuan. Soalnya, selain momen lentur yang besar, gaya geser di daerah tumpuan balok juga sangat besar.
2. Joint (sambungan balok-kolom) tidak boleh gagal sewaktu mentransfer gaya-gaya yang cukup besar dari balok ke kolom.
3. Kolom harus lebih kuat daripada kapasitas balok. Sehingga, muncullah istilah Strong Column Weak Beam.

Pada prakteknya sistem struktur penahan beban lateral dapat dibuat sebagai kombinasi dari sistem rangka penahan momen dan sistem dinding struktural (sistem ganda) dan sistem ganda ini rangka penahan momen harus mampu menahan minimum 25 % Beban lateral yang bekerja pada struktur bangunan.

2.2. Analisa Pembebanan

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur bangunan, perlu adanya gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis.

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya baik yang bersumber dari alam maupun buatan manusia. Beban yang bersumber dari alam misalnya gempa bumi, angin, hujan salju dan lain-lain, sedangkan beban yang ditimbulkan oleh manusia misalnya akibat dari mobilitas manusia itu sendiri, mesin, kendaraan bermotor dan sebagainya, untuk lebih jelasnya beban diatas akan diklasifikasi sesuai dengan jenisnya.

2.2.1. Beban Vertikal (Beban Statis)

Beban statis adalah beban yang memiliki perubahan intensitas beban terhadap waktu berjalan lambat atau konstan. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung 1987 adalah sebagai berikut:

a. Beban Mati

Sesuai SNI 1727-2013 *Pasal 3.1* beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengannya, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan oleh gedung. yang termasuk beban mati adalah seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga dan finishing.

Tabel 2.1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung (PPUG 1987)

Bahan Bangunan	
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah,batu bulat,batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (Berat Tumpuk)	700 kg/m ³
Batu Pecah	1.450 kg/m ³
Besi Tuang	7.250 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (kelas 1)	1.000 kg/m ³
Kerikil,Koral (Kering udara sampai lembab,tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah ,batu bulat,batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (Jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil,koral (kering udara sampai kembang)	1.850 kg/m ³
Tanah,lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah,lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (Timbel)	11.400kg/m ³
Komponen Gedung	
Adukan,per cm tebal	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur ,semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal , termasuk bahan-bahan mineral penambah,per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding Pasangan bata merah	
- satu bata	450 kg/m ²

- setengah bata	250 kg/m ²
Dinding Pasangan Batako	
Berlubang	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- semen asbes (eternit, dan bahan lapis sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/ kaso ,per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup Atas Sirap dengan reng usuk /Kaso per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng grlombang (BJLS-25) tnpa gordeng.	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland ,teraso dan beton ,tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5mm)	11 kg/m ²
<p>Catatan:</p> <p>(1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi</p> <p>(2) Untuk beton getas ,beton kejut ,beton mampat dan beton padat lain sejenis ,berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.</p> <p>(3) Nilai ini adalah nilai rata-rata ,untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat pedoman perencanaan konstruksi kayu.</p>	

b. Beban Hidup

Sesuai SNI 1727-2013 *Pasal 4.1* beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Tabel 2.2 *Beban Hidup pada lantai gedung (PPUG 1987)*

A	Lantai dan rumah tinggal kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
B	Lantai dan rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko ,pabrik atau bengkel	125 kg/m ²
C	Lantai sekolah,ruang kuliah, kantor, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²

2.2.2. Beban Horizontal (Beban Dinamik)

Beban dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis ini terdiri dari beban gempa dan beban angin.

a. Beban Angin

Beban Angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Dalam tugas akhir ini perhitungan beban angin menggunakan SNI 1727-2013 *Pasal 26* tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan. Muatan angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m². Adanya urutan perhitungan beban angin adalah sebagai berikut:

- 1) Kecepatan angin dasar, *V Pasal 26.5* atau data BMKG.
- 2) Faktor arah angin, *Kd Pasal 26.6*.
- 3) Kategori exposure, *Pasal 26.6*.

- 4) Faktor topografi, *Pasal 26.8.*
- 5) Faktor pengaruh tiupan angin, *Pasal 26.9.*
- 6) Klasifikasi ketertutupan, *Pasal 26.10.*
- 7) Koefisien tekanan internal, *GCpi, Pasal 26.11.*
- 8) Tekanan Velositas, *qz Pasal 27.3.2.*
- 9) Tekanan angin, *p Pasal 27.4.*

b. 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/pergesekan 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. (Yosafat Aji Pranata,2006)

Beban Gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau pada bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa Menurut SNI 1726-2012.

1) Gempa Rencana

Tata Cara ini Menentukan Pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatanya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 Persen. (SNI 1726-2012 *Pasal 4.1.1*).

2) Faktor Keutamaan dan Katagori Resiko struktur Bangunan

Sesuai dengan SNI 1726-2012 *Pasal 4.1.2* untuk Berbagai Katagori Risiko Struktur bangunan gedung dan non gedung Sesuai Tabel 1 pada SNI 1726-2012.

Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor Keutamaan Ie Menurut Tabel 2 pada SNI 1726-2012. Khusus untuk struktur bangunan dengan katagori resiko IV. Bila dibutuhkan pintu masuk untuk oprasional struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan katagori resiko IV. (SNI 1726-2012).

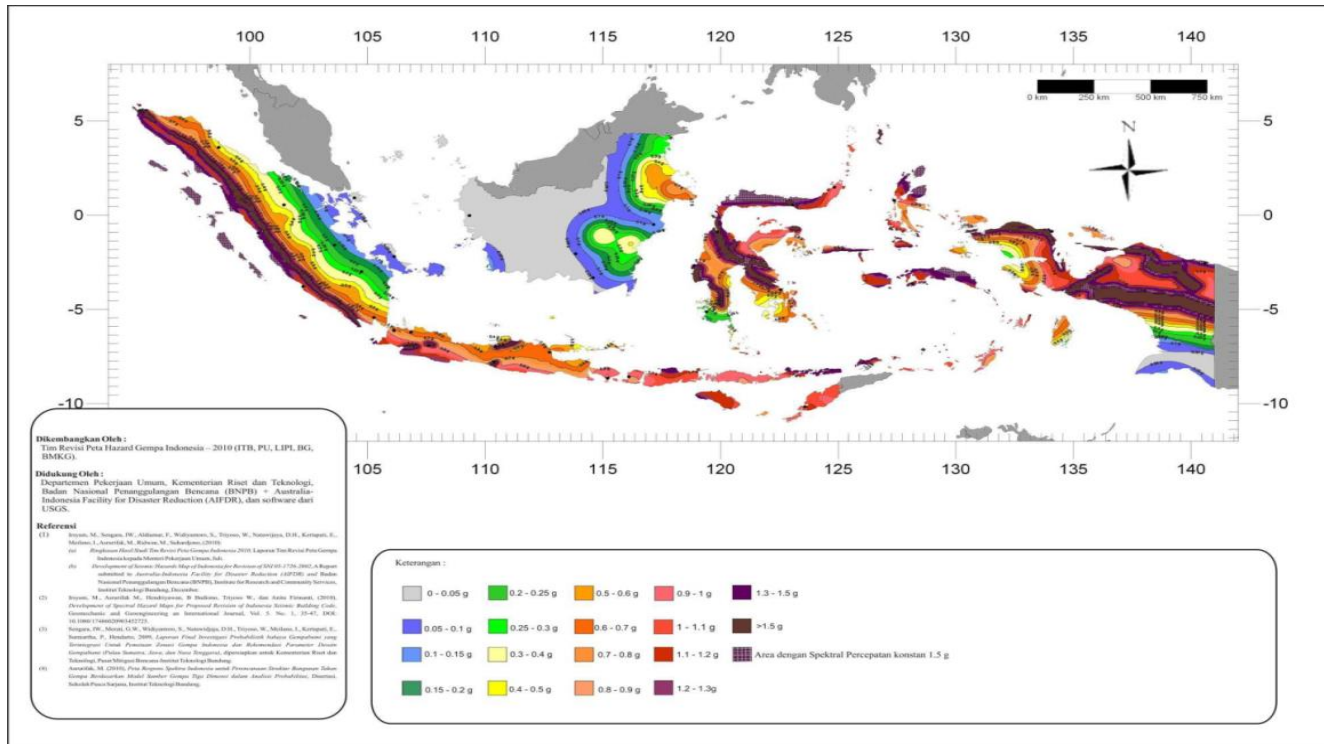
Tabel 2.3 *Tabel-1 Katagori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur lainnya untuk beban gempa*

Jenis Pemanfaatan	Katagori Resiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi: :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas pendidikan - Fasilitas Pemadam kebakaran, kantor polisi - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi - Fasilitas persiapan darurat, komunikasi, pusat operasi - Pusat pembangkit Energi <p>Gedung dan gedung yang dibutuhkan untuk mempertambahkan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam resiko IV</p>	IV

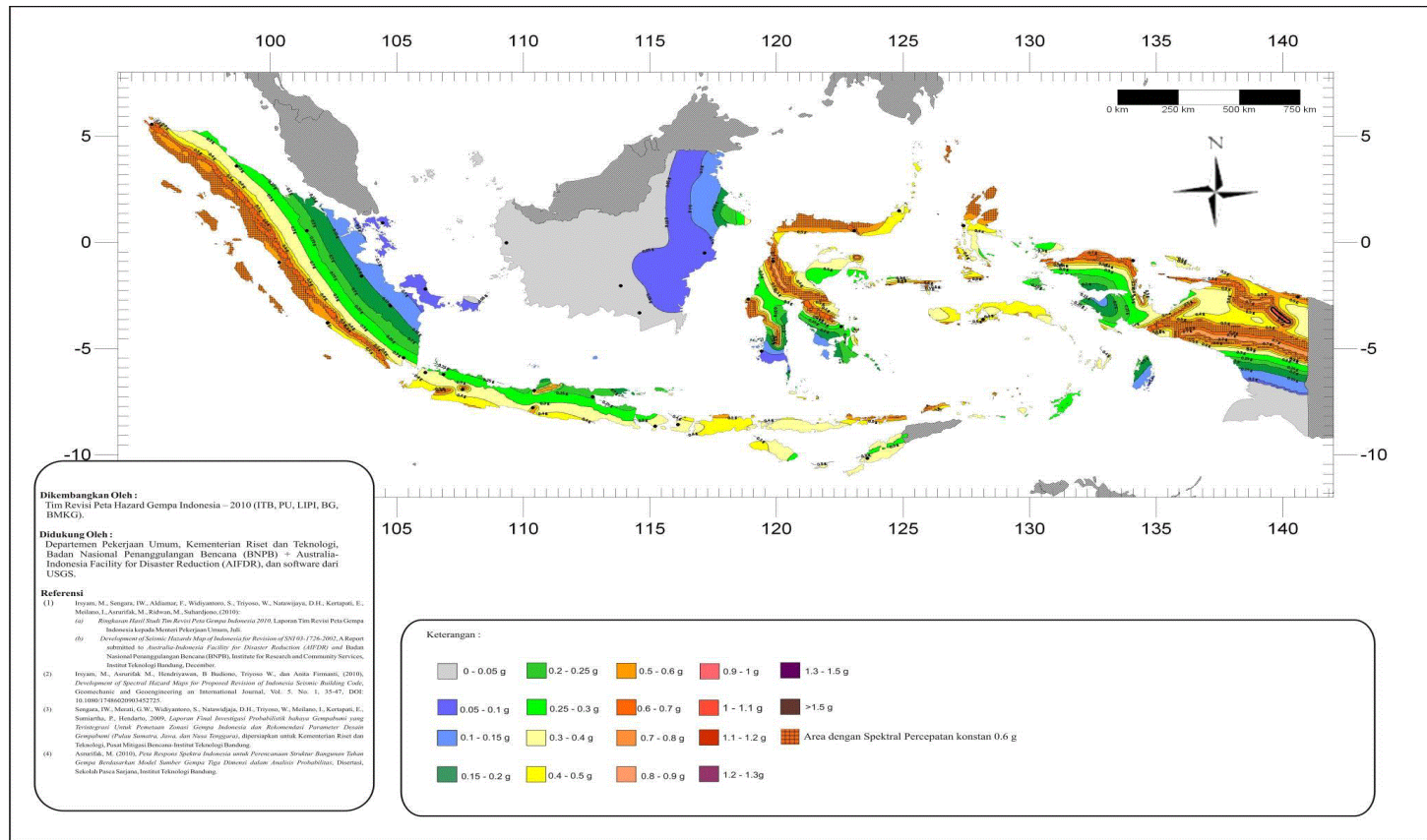
Tabel 2.4 *Tabel-2 Faktor Keutamaan Gempa*

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

3) Menentukan Parameter Percepatan Tanah



Gambar 2.2 Peta untuk SS (Parameter Responsspektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER), Periode Ulang Gempa =2500 tahun); $T=0,2$ detik; Kelas Situs S



Catatan: Nilai-nilai lebih detail percepatan spektral respons dapat dilihat pada program SpektralIndo dalam CD yang menyertai dokumen standar ini

Gambar 2.3 Peta untuk S1 (Parameter Responsspektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER), Periode Ulang Gempa =2500 tahun); T=0,1 detik; Kelas Situs S

4) Menentukan Klasifikasi Situs (SA-SF)

Sesuai dengan SNI 1726-2012 *Pasal 5.1* bahwa Tipe Kelas Situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi Tabel 3 pada SNI 1726-2012 dan pasal-Pasal Berikut.

Tabel 2.5 *Tabel-3 Klasifikasi Situs*

Kelas Situs	Vz (m/detik)	N atau Nch	Su (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	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap provit tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan katakarakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadarair, $w > 40\%$, dan 3. Kuat geser niralis, $Su < 25kPa$ 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan atau berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifikasi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah. 2. Lempung sangat organic dan gambut (ketebalan $H > 3m$). 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (Ketebalan $H < 7,5 m$ dengan Indeks Plastis, $PI > 75$). 4. Lapisan Lempung lunak atau medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $Su < kPa$. 		

5) Menentukan Faktor Koefisien Situs (FA-FF)

Sesuai dengan SNI 1726-2012 *Pasal 6.2* Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang di pertimbangkan resiko tertarget. Untuk menentukan Koefisien situs, F_a yaitu pada Tabel 4 pada SNI 1726-2012. Dan untuk menentukan Koefisien situs, F_v yaitu pada Tabel 5 pada SNI 1726-2012.

Tabel 2.6 *Tabel-4 Koefisien Situs, F_a*

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCEr terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ dan S_s				
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
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
SF	SS^b				

Tabel 2.7 *Tabel-5 Koefisien Situs, F_v*

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa MCEr terpetakan pada perioda 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
SF	SS^b				

- 6) Menentukan Parameter Percepatan Desain (SDS,SD1)

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (SDS), dan pada periode 1 detik (SD1) harus ditetapkan sesuai (SNI 1726-2012 *Pasal 6.3*) :

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

- 7) Menentukan Katagori Desain Seismik (KDS)

Penentuan KDS Harus Sesuai dengan SNI 1726-2012 *Pasal 6.5* yaitu pada Tabel 6 dan Tabel 7 pada SNI 1726-2012 sebagai berikut :

Tabel 2.8 *Tabel-6 Katagori desain Seismik 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
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.9 *Tabel-7 Katagori desain Seismik 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
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

- 8) Menentukan Sistem Struktur (R,Cd,Ωo)

Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R, Cd, Ωo harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 pada SNI 1726-2012 berikut ini : (SNI 1726-2012 *Pasal 7.2.2*)

Tabel 2.10 Tabel-9 Faktor R, C_d, Ω_0 , untuk Sistem Penahan gaya Seismic

Sistem Penahan Gaya	R^a	Ω_0	C_d^b	B	C	D	E	F
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	$\frac{1}{5^2}$	TB	TB	TB	TB	TB

9) Merencanakan Respon Spektrum

Kurva respon spektrum sesuai SNI 1726-2012 *Pasal 6.4* :

- a) Untuk periode yang lebih dari T_0 ,spektrum respons percepatan desain, S_a harus diambil dari persamaan :

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

- b) Untuk Periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ,Spektrum respons percepatan desain , S_a sama dengan S_{ds} .

- c) Untuk Periode lebih besar dari T_s , Spektrum respons percepatan desain , S_a diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

S_{ds} = Parameter Respons Spektral Percepatan desain pada periode pendek

S_{d1} = Parameter Respons Spektral Percepatan desain pada periode 1 Detik

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

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

10) Menentukan Perkiraan Periode Alami Fundamental

Perkiraan Periode Alami Fundamental sesuai SNI 1726 2012 *Pasal 7.8.2* :

$$T_a = C_t h_n^x$$

Keterangan :

H_n = adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Nilai C_t dan x ditentukan dalam Tabel 15 pada SNI 1726-2012.

Tabel 2.11 *Tabel-14 Koefisien Untuk batas Atas pada periode yang dihitung*

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.12 *Tabel-15 Nilai Parameter periode pendekatan C_t dan x*

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731a	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488a	0,75

11) Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

Geser dasar Seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai SNI 1726-2012 *Pasal 7.8.1* dengan persamaan :

$$V = C_s V$$

Dimana :

C_s = Koefisien Respon Seismik yang ditentukan Sesuai SNI 1726-2012 *Pasal 7.8.1.1*

W = Berat Efektif Seismik

Nilai Koefisien Respon Seismik SNI 1726-2012 *Pasal 7.8.1.1* ditentukan dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Nilai C_s yang Dihitung Tidak boleh Melebihi :

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \text{Atau } C_s \text{ Tidak Kurang dari } C_s = 0,044 S_{ds} I_e \geq 0,01$$

12) Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya Gempa Lateral yang timbul disemua tingkat harus ditentukan sesuai SNI 1726-2012 *Persamaan 7.8.3* :

$$F_x = C_{VX} V$$

Dimana :

Untuk $T \leq 0,5$ s ; Maka Nilai $k = 1$

$T \leq 2,5$ s ; Maka Nilai $k = 2$

$0,5$ s $\leq T \leq 2,5$ s ; Maka Nilai k diperoleh dengan interpolasi linier dari nilai k diatas

13) Kontrol Simpangan (Drift)

Berdasarkan SNI 1726-2012 *Pasal 7.8.6* untuk kontrol drift dan syarat drift dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I}$$

Dimana :

- δ_x = Defleksi pada lantai ke-x
- Cd = faktor Pembesaran defleksi
- I = Faktor Keutamaan Gedung
- h_{sx} = Tinggi Lantai (m)

14) Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Periode struktur fundamental T dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan property struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisi yang teruji. Periode fundamental T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a).

$$T_c < T = T_a \cdot C_u$$

Dimana :

- T_a = Periode Fundamental Pendekatan
- C_u = Koefisien Untuk Batas Atas

2.2.3. Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2013 *Pasal 2.4.1* untuk Beban kombinasi terfaktor (LRFD) digunakan :

- a. 1,4 D
- b. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (La atau H)
- c. 1,2 D + 1 L + 1,6 Wx
- d. 1,2 D + 1 L + 1,6 Wy
- e. 1,2 D + 1 L + 1 ρ Ex + 0,3 ρ Ey
- f. 1,2 D + 1 L - 1 ρ Ex + 0,3 ρ Ey
- g. 1,2 D + 1 L + 1 ρ Ex - 0,3 ρ Ey
- h. 1,2 D + 1 L - 1 ρ Ex - 0,3 ρ Ey
- i. 1,2 D + 1 L + 0,3 ρ Ex + 1,3 ρ Ey

j. $1,2 D + 1 L - 0,3\rho E_x + 1,3\rho E_y$

k. $1,2 D + 1 L + 0,3\rho E_x - 1,3\rho E_y$

l. $1,2 D + 1 L - 0,3\rho E_x - 1,3\rho E_y$

ρ = factor redundansi (bergantung pada tingkat redundansi pada sistem penahan gempa lateral; ρ bervariasi dari 1.0 hingga 1.3)

Sedangkan Beban kombinasi nominal ASD digunakan :

a. D

b. D + L

c. D + (Lr atau S atau R)

d. D + 0,75 L + 0,75 (Lr atau S atau R)

e. D + (0,6W atau 0,7E)

f. D + 0,75L + 0,75(0,6W) + 0,75 (Lr atau S atau R)

g. D + 0,75L + 0,75(0,7E) + 0,75S

h. 0,6D + 0,6W

i. 0,6D + 0,7E

2.3. Pushover Analisis

2.3.1. Analisis Statik Beban Dorong (Static Pushover Analysis)

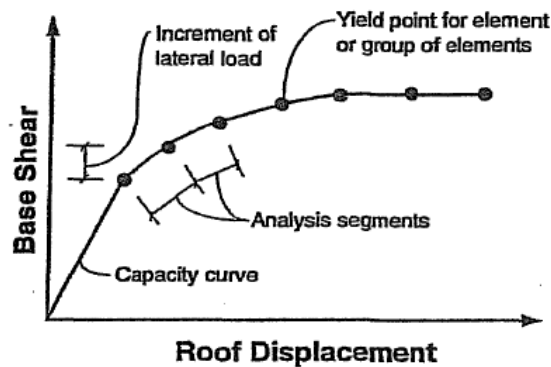
Analisis statik beban dorong (pushover) adalah suatu analisis nonlinier statik, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastic.

Tujuan analisis beban dorong adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual struktur, memperlihatkan kurva kapasitas (capacity curve), dan memperlihatkan skema keelehan (distribusi sendi plastis) yang terjadi (Yosafat Aji Pranata, 2006).

Metode analisis statik beban dorong merupakan metode dengan pendekatan nonlinier statik, yang dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas.

2.3.2. Kurva Kapasitas

Hasil analisis statis pushover nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan Kurva Kapasitas struktur.



Gambar 2.4 Capacity Curve (ATC 40,1996)

Capacity Curve hasil Analisis *Pushover* dirubah menjadi capacity spektrum melalului persamaan dibawah ini (ATC 40,1996)

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{Roof}}{PF1_{Roof} \cdot 1}$$

$$P_f = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i2})/g}$$

$$P_f = \frac{[\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1})/g]^2}{[\sum_{i=1}^n (w_i/g)][\sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2)/g]}$$

Dimana :

S_a : *Spectral acceleration*

S_d : *Spectral displacement*

PF_1 : *Modal participation* untuk modal pertama

α_1 : *Modal mass coefficient* untuk modal pertama

ϕ_{i1} : *Amplitude of first* untuk level i

V : Gaya geser dasar

W : Berat mati bangunan di tambah beban hidup

Δ_{roof} : *Roof displacement*

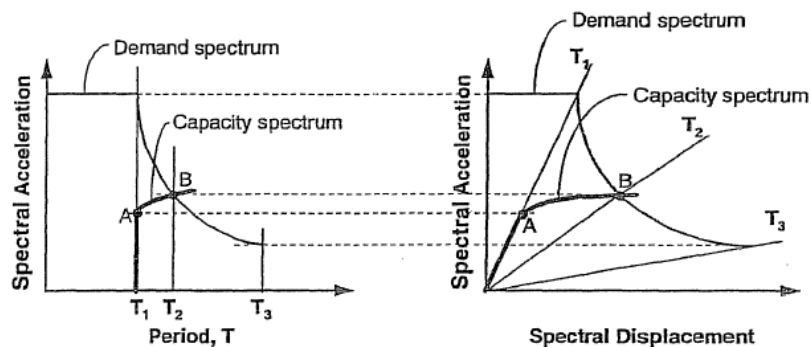
w_i/g : Massa pada level

2.3.3. Spektrum Demand

Respons spectrum elastic adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh koefisien C_a (percepatan tanah puncak , peak ground acceleration) dan C_v (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik). Nilai C_a dan C_v ini berbeda-beda untuk masing-masing jenis tanah. Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka respons spectrum perlu dirubah formatnya menjadi *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS) melalui persamaan :

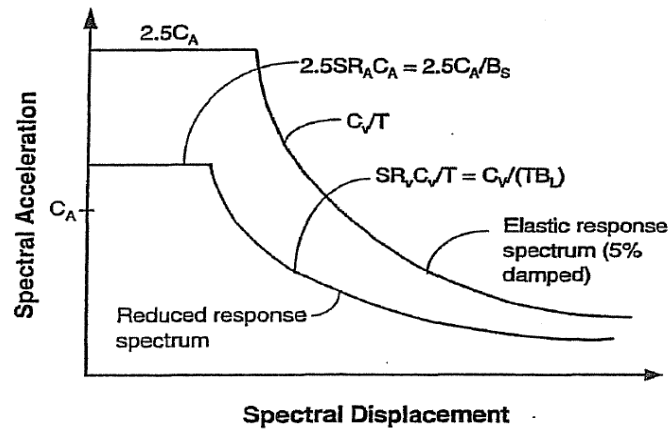
$$S_d = \left[\frac{T}{2\mu} \right]^2 \cdot S_a$$

Di mana T adalah waktu getar alami dari struktur bangunan. Perubahan format ini dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Perubahan Format respons percepatan menjadi ADRS

Respons spectrum dalam format ADRS ini mempunyai tingkat redaman (damping) sebesar 5%. Setelah struktur leleh, nilai redaman ini perlu direduksi dengan konstanta agar sesuai dengan *effective viscous damping* dari struktur.



Gambar 2.6 Reduksi Respon Spektrum elastik menjadi demand spektrum

Untuk respons spectrum dengan percepatan yang konstan direduksi dengan SR_A , sedangkan untuk respons spectrum dengan kecepatan yang konstan direduksi dengan SR_V dimana :

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \left[\frac{6.37 k (a_y d_y - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \right] + 5}{2.12}$$

$$SR_V = \frac{3.21 - 0.41 \ln \left[\frac{6.37 k (a_y d_y - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \right] + 5}{1.65}$$

Atau dapat disederhanakan Menjadi :

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \beta_{eff}}{2.12}$$

$$SR_V = \frac{3.21 - 0.41 \ln \beta_{eff}}{1.65}$$

Dimana :

$a_y d_y$ = Koordinat titik leleh efektif dari kurva kapasitas

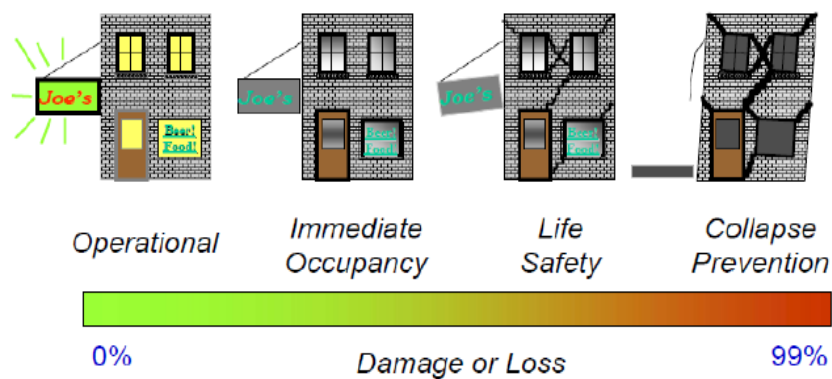
$a_{pi} d_{pi}$ = Koordinat percobaan titik perfoma

K = Faktor modifikasi redaman

2.3.4. Kriteria Struktur Tahan Gempa

Menurut *Applied Technology Council of Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol.1* (ATC-40). Penentuan level kinerja suatu struktur diukur berdasarkan kriteria roof drift ratio atau drift yaitu rasio perpindahan horizontal atap dibagi dengan tinggi struktur dari taraf penjepitan. Dalam penentuan level kinerja Roof drift ratio dicari berdasarkan target perpindahan struktur yaitu perpindahan maksimum yang terjadi saat struktur menerimagempa rencana. kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :

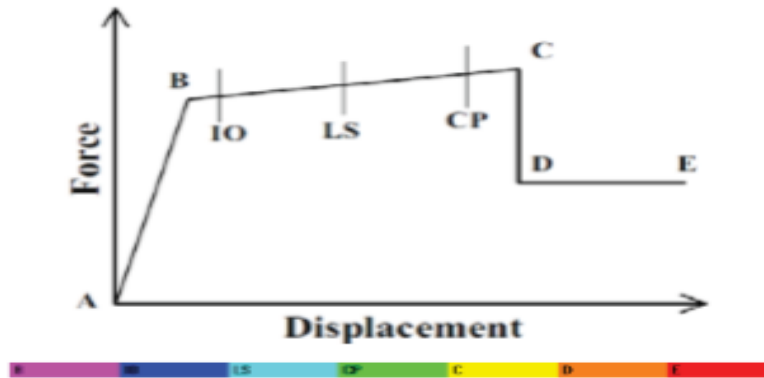
- Immediate Occupancy (IO)* Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai.
- Life Safety (LS)* Bila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal / berada pada bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa bumi.
- Collapse Prevention (CP)* Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan struktural yang sangat berat, tetapi belum runtuh.



Gambar 2.7 Performance Level

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh

dahulu, maka struktur langsung hancur. Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastis adalah sebagai berikut.



Gambar 2.8 Properti sendi plastis

Tabel 2.13 Batasan Rasio Drift Menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	Io	Damage Control	Ls	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	0,33 W_i/P_i
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005 s/d 0,015	No Limit	No Limit

Tabel 2.14 Batasan Type Bangunan Pada Capacity Spektrum Method Menurut ATC-40

Shaking Duration	Essential New Building	Average Existing Building	Poor Existing Building
Short	A	B	C
Long	B	C	C

2.4. Peneliti Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilakukannya sebelumnya, penelitian-penelitian tersebut, antara lain adalah :

1. Penelitian yang dilakukan oleh Nur Rachmad Afandi (2010)

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Nur Rachmad Afandi (2010) dengan judul “EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR BETON DENGAN ANALISIS PUSHOVER MENGGUNAKAN PROGRAM SAP 2000” Dengan study kasus Gedung Rumah Sakit di Surakarta. Tujuan dari dalam penelitian ini adalah :

1. Memperlihatkan kurva kapasitas, hubungan base shear dengan displacement, pada kurva pushover sebagai representasi tahapan perilaku struktur saat dikenai gaya geser dasar pada level tertentu serta performance point.
2. Menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung rumah sakit dari hasil nilai performance point menggunakan code ATC-40.
3. Memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan program SAP 2000.
4. Mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Amdhani Prihatmoko Wibowo (2012)

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Amdhani Prihatmoko Wibowo (2012) dengan judul “PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)” Dengan study kasus Rusunawa 2 Twin Blok Pringwulung Sleman Yogyakarta. Tujuan dari dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besarnya beban gravitasi dan beban gempa yang bekerja pada struktur.bangunan Rusunawa Pringwulung 2 Twin Blok.
2. Apakah akan diperoleh besaran gaya dalam yang berbeda jika memperhitungkan komponen gempa pada SRPMK dan SRPMM.
3. Berapa dimensi balok dan kolom yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja dan formasi penulangan pada elemen struktur balok dan kolom.
4. Bagaimanakah gambar detail penulangan balok dan kolom dari hasil perencanaan.