

PERKEMBANGAN ARAH FALSAFAH DESAIN SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

Oleh :

Zet Mallisa

ABSTRAK

Gempa bumi yang melanda berbagai daerah dan kota-kota di dunia dalam kurun waktu satu dasawarsa terakhir menyebabkan kerusakan bangunan dan kerugian ekonomi, sehingga telah menuntut adanya suatu pendekatan baru dalam perencanaan bangunan di daerah rawan gempa. Selama ini falsafah desain seismic yang dipakai, seperti juga yang dianut oleh standar Perencanaan Ketahanan Gempa Indonesia SKBI 1.3.53.1987, adalah : akibat gempa kecil atau sedang, struktur bangunan harus dijamin tidak rusak; sedangkan akibat gempa kuat yang jarang terjadi, struktur harus dijamin tidak roboh, walau diijinkan mengalami kerusakan dengan pola yang telah direncanakan. Pendekatan dengan falsafah ini ternyata belum menjamin terkendalikannya kerusakan bangunan maupun isinya serta terganggunya aktivitas bisnis terhadap gempa dengan intensitas sedang sampai kuat. Lagi pula ketentuan-ketentuan yang dibangun di atas falsafah ini belum menjamin tercapainya keseragaman resiko akibat gempa pada bangunan di wilayah yang sama.

Tulisan ini memaparkan Konsep “Performance-based Seismic Design” yang menawarkan suatu pendekatan baru bagi desain seismic struktur bangunan gedung. Metoda analisis yang dapat dipakai untuk melakukan evaluasi kinerja dan kriteria batas untuk setiap kinerja juga diuraikan secara ringkas. Pada bagian akhir dipaparkan pula peran berbagai pihak yang terkait untuk memastikan efektifitas pendekatan baru ini dalam mencegah kerugian akibat gempa yang tidak diharapkan.

Kata Kunci : “Performance Based Seismic Desigh”, Analisis akibat beban gempa, Tingkat kinerja elemen-elemen struktur.

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di daerah pertemuan beberapa lempeng tektonik yang aktif bergerak di antaranya tiga lempeng besar, yaitu : Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Circum Pasific. Berdasarkan Teori Pelat Tektonik, lempeng-lempeng kerak bumi ini bergerak relatif satu terhadap yang lain. Dalam kasus di Indonesia, lempeng-lempeng ini bergerak saling bertumbukan yang mengakibatkan terkumpulnya energi potensial seiring dengan regangan dan tegangan yang terjadi. Ketika daerah pertemuan tersebut tidak lagi mampu menahan besarnya tegangan yang terakumulasi, maka terjadilah pelepasan energi yang diikuti oleh dislokasi bagian lempeng-lempeng tersebut. Fenomena ini mengakibatkan terjadinya getaran tanah yang lazim disebut sebagai gempa tektonik. Berdasarkan uraian tersebut di atas, tidaklah mengherankan jika Indonesia merupakan daerah rawan gempa.

Untuk mencegah korban jiwa dan berbagai kerugian lain akibat kerusakan bangunan akibat terjadi gempa, maka sejak tahun 1976 Pemerintah Indonesia c.q. Departemen Pekerjaan Umum dengan bantuan Pemerintah Selandia Baru telah menyiapkan pedoman perencanaan seismic sebagai pengganti ketentuan seismic yang ada dalam Peraturan Muatan Indonesia 1970. Kini pedoman perencanaan seismic yang dipersiapkan sejak tahun 1976 itu telah digunakan secara luas dan dikenal dengan nama “ Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Indonesia SKBI 1.3.53.1987”.

Di dalam SKBI 1.3.53.1987^[1] dijelaskan bahwa tidaklah ekonomis untuk merencanakan strutur bangunan untuk tetap memberikan respons elastis (sama sekali tidak mengalami kerusakan) akibat gempa kuat yang mungkin terjadi dengan probabilitas yang relatif kecil selama umur efektif bangunan. Oleh karena itu, falsafah desain yang digunakan adalah sebagai berikut : “akibat gempa kecil atau sedang, struktur bangunan harus dijamin tidak rusak; sedangkan akibat gempa kuat yang jarang terjadi, struktur harus dijamin tidak roboh,

¹⁾ Staf pengajar pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Tadulako Palu.

walaupun diijinkan mengalami kerusakan dengan pola yang telah direncanakan”. Falsafah ini juga digunakan sebagai acuan dalam *codes of practice* di beberapa Negara.

Namun gempa tektonik, seperti Loma Prieta (1989) dan Northridge (1994), serta gempa Kobe (1995) yang melanda beberapa kota besar di dunia dan gempa di Aceh (2004), sehingga dalam satu dasa warsa terakhir telah mendorong para ahli untuk memikirkan sebuah pendekatan yang lebih baik^[2,3]. Hal ini disebabkan karena falsafah yang selama ini dianut ternyata tidak menghasilkan desain yang mampu mencegah timbulnya kerugian cukup besar akibat gempa sedang sampai kuat (*moderate to severe earthquakes*). Dengan kata lain, prosedur desain seismic yang digunakan selama ini berdasarkan falsafah tersebut di atas belum mengantisipasi kinerja atau kerusakan struktur bangunan pada berbagai tingkat intensitas gempa, kecuali secara terbatas untuk gempa kecil-sedang dan gempa kuat harus memikul kerugian yang tidak diketahui sebelumnya. Kerugian tersebut meliputi besarnya biaya perbaikan bangunan dan hilangnya *business opportunities* akibat terhentinya aktivitas bisnis selama bangunan dalam keadaan rusak dan sedang diperbaiki.

Tulisan ini memaparkan konsep desain berbasis kinerja atau (*Performance-Based Seismic Design*) yang dalam beberapa tahun terakhir ini sedang dikembangkan dan menjadi fokus perhatian berbagai pihak. Diharapkan konsep ini mampu menawarkan sebuah alternatif pendekatan baru dimana kinerja struktur bangunan pada berbagai intensitas gempa dapat direncanakan dan dikomunikasikan kepada pihak pemilik bangunan agar konsekuensi-konsekuensinya dapat diantisipasi sejak awal. Metoda analisis yang dapat dipakai untuk melakukan evaluasi kinerja berikut kriteria batas untuk setiap kinerja juga diuraikan secara ringkas dalam tulisan ini.

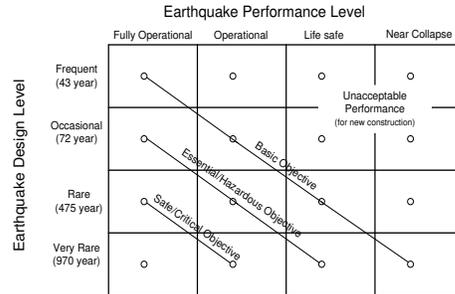
II. KONSEP DESAIN BERBASIS KINERJA

Konsep desain berbasis kinerja menawarkan suatu pendekatan baru bagi

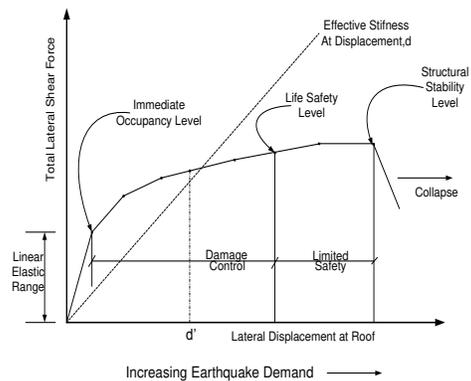
perencanaan seismic struktur bangunan dengan menetapkan beberapa tingkat kinerja struktur bangunan (*multiple performance objective levels*) yang diharapkan dapat tercapai saat bangunan dilanda gempa dengan intensitas tertentu. SEAOC Vision 2000^[4] mengusulkan empat tingkat gempa, yaitu : *frequent, occasional, rare, very rare* dengan prakiraan periode ulang dan probabilitas terjadinya selama umur efektif bangunan seperti disajikan pada tabel 1. selanjutnya SEAOC Vision 2000 juga merekomendasikan empat tingkat kinerja struktur, yaitu : *fully operational, operational, life save, near collapse* yang berkorelasi dengan berbagai tingkat intensitas gempa rencana seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Earthquake Design Level For Both Design dan Verification (4)

Earthquake Design Level	Recurrence Interval	Probability of Exceedance
Frequent	43 years	50 % in 30 years
Occasional	72 years	50 % in 50 years
Rare	475 years	10 % in 50 years
Very Rare	970 years	2 % in 50 years



Gambar 1. Recommended Earthquake Performance Objectives for Buildings



Gambar 2. Increasing Earthquake Demand

Dengan menggunakan istilah dan kategori yang sedikit berbeda, *Applied Technological Council* dalam dokumen ATC-40 menetapkan tiga tingkat intensitas gempa, yaitu : *Serviceability Earthquake*, *the Design Earthquake*, dan *the Maximum Earthquake*.

The Serviceability Earthquake didefinisikan sebagai gempa dengan periode ulang rata-rata sekitar 75 tahun yang mempunyai intensitas yang secara probabilistic 50% akan terlampaui selama kurun waktu 50 tahun. Intensitas gempa ini biasa diperhitungkan sebesar 0,5 kali intensitas.

The Design Earthquake didefinisikan sebagai gempa yang secara probabilistic 10% akan terlampaui dalam suatu rentang masa 50 tahun, dan gempa ini mempunyai periode ulang rata-rata sekitar 500 tahun.

The Maximum Earthquake didefinisikan sebagai gempa terkuat yang mungkin terjadi di lokasi tertentu dengan periode ulang sekitar 1000 tahun dan dengan probabilistic 5% terlampaui selama kurun waktu 50 tahun, dan tingkat intensitas gempa ini diperkirakan sekitar 1,25 sampai 1,5 kali tingkat intensitas *The Design Earthquake*.

Konsep ke 2 SNI 1726-1998 yang direncanakan akan menggantikan SKBI 1.3.53.1987 juga menetapkan tingkat-tingkat gempa seperti tersebut di atas untuk keperluan perencanaan sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Jenis Bangunan dan Faktor Keutamaan Bangunan Akibat Gempa Rencana.

Jenis Bangunan	Umur Bangunan (thn)	Peluang Terjadi (%)	Periode Ulang Gempa Rencana (thn)	Faktor Keutamaan Bangunan
Bangunan Rendah untuk Penghunian, Pertokoan dan Perkantoran, s/d 10 tingkat	20	10	200	0,9
Bangunan biasa untuk Penghunian, Pertokoan dan Perkantoran, dengan tinggi lebih 10 – 30 tingkat	50	10	500	1,0
Bangunan Tinggi untuk Penghunian, Pertokoan dan Perkantoran, dengan tinggi lebih dari 30 tingkat	100	10	1000	1,2
Bangunan istimewa yang penting pasca gempa, seperti rumah sakit, pembangkit listrik, instalasi air minum	50	2	2000	1,4
Bangunan Berbahaya tempat menyimpan gas, minyak, asam, dan bahan beracun, instalasi listrik	50	1	5000	1,6
Bangunan Monumen untuk dilestarikan	100	1	1000	1,9

Lebih lanjut ATC 40 memberikan ilustrasi (seperti tampak pada gambar 2) bagaimana sebuah struktur merespons gempa dengan berbagai intensitas yang mungkin terjadi selama umur efektifnya. Saat terjadi gempa dengan intensitas kecil (*Serviceability Earthquake*) elemen – elemen struktur mengalami deformasi dalam rentang elastisnya dan diharapkan tidak mengalami kerusakan apapun. Merespons gempa dengan intensitas yang lebih besar, elemen-elemen struktur berdeformasi melampaui batas elastisnya dan dapat dipastikan mengalami kerusakan.

Tingkat kinerja *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Structural Stability* merupakan tingkat – tingkat kinerja bangunan yang bersifat diskrit, sedangkan tingkat kinerja *Damage Control* dan *Limited Safety* berupa interval-interval kinerja dengan kriteria batas seperti yang diuraikan pada salah satu bagian tulisan ini

Agar dapat menjamin struktur bangunan mempunyai kinerja seperti diharapkan, maka perencanaan Struktur dan Arsitek perlu mendiskusikannya pada tahap awal desain dengan pihak pemilik bangunan. Selanjutnya perencana Struktur akan merencanakan sistem penahan beban lateral berikut materialnya yang paling tepat berdasarkan satu atau beberapa performance objektif yang ingin dicapai. Hasil perencanaan perlu diferivikasi dengan bantuan suatu metoda analisis yang mampu memberikan gambaran tentang kinerja Struktur pada berbagai intensitas gempa.

III. METODA ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN

Metoda analisis yang direkomendasi untuk digunakan sebagai metoda yang cukup handal dalam memferifikasi kinerja Struktur adalah Analisis Inelastis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong (*Pushover*).

3.1. Analisis Inelastis Riwayat Waktu

Metoda ini merupakan analisis dinamis non-linear yang hingga kini dipercaya sebagai metoda analisis dengan hasil yang paling akurat dalam memprediksi

perilaku Struktur akibat gempa, baik dalam kondisi elastis ataupun inelastic. Dengan metoda ini Struktur bangunan disimulasi sedemikian rupa seakan-akan mengalami mengalami getaran gempa sebagaimana kenyataannya.

Untuk keperluan ini tentu saja dibutuhkan bantuan Program computer, seperti Ruamoko, Drain 2D atau Drain 3D yang mampu melakukan analisis numeric langkah demi langkah (stet-by-step numerical integration). Sebagai masukan (input) perencana Struktur perlu memasukan semua data properties Struktur dan rekaman gempa yang dapat berupa rekaman gempa yang pernah terjadi atau rekaman gempa buatan yang code-spectrum compatible.

Untuk mendukung aplikasi konsep “Performance-Based Seismic Design” diperlukan sejumlah analisis dengan rekaman gempa buatan yang code-spectrum compatible untuk mensimulasi beberapa gempa dengan intensitas kecil (low) sampai kuat (severe). Dengan demikian analisis inelastic riwayat waktu menjadi semakin time-intensive dan tidak semua perencana Struktur mempunyai akses penggunaan program computer sebagai alat bantu untuk melakukannya. Selain itu metoda ini juga cukup kompleks dan membutuhkan pemahaman yang cukup mendalam tentang prinsip-prinsip analisis dinamis.

3.2. Analisa Beban Dorong (Pushover)

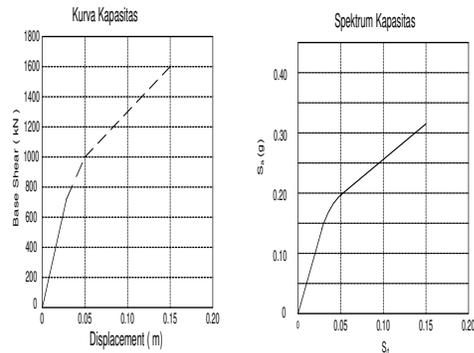
Metoda analisis dinamis non-linear seperti yang diuraikan diatas merupakan Cara yang dapat dianggap paling akurat dalam memprediksi respons inelastic Struktur akibat gempa. Namun memperhatikan berbagai “kendala” yang ada, metoda ini kurang praktis untuk dipakai dalam perencanaan Struktur sehari-hari.

Dalam beberapa tahun terakhir ini berkembang metoda analisis static non-linear yang lebih sederhana dan mudah dipahami. Pada dasarnya metoda analisis melakukan perbandingan antara kapasitas (capacity) Struktur dengan kebutuhan (demanc) berupa tuntutan perpindahan (displacement) akibat gempa.

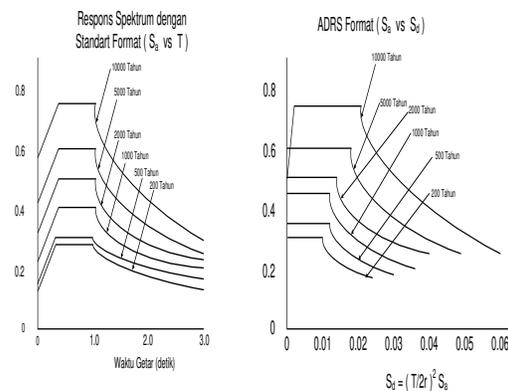
Bila kapasitas struktur lebih besar dari pada kebutuhan, maka kinerja yang disyaratkan tercapai.

Salah satu cara alternatif untuk mendapatkan kapasitas struktur tanah adalah dengan menggunakan Analisa Beban Dorong Statik Non-Linear (Pushover Non-Linear Statik Analysis) yang dapat dilakukan dengan alat bantu program computer, seperti Ruamoko untuk model struktur 2 dimensi, Serta SAP 2000 dan ETABS untuk model Struktur 3 dimensi. Hasil analisis ini berupa kurva kapasitas yang kemudiann dapat diubah menjadi spectrum kapasitas seperti diperlihatkan pada gambar 3.

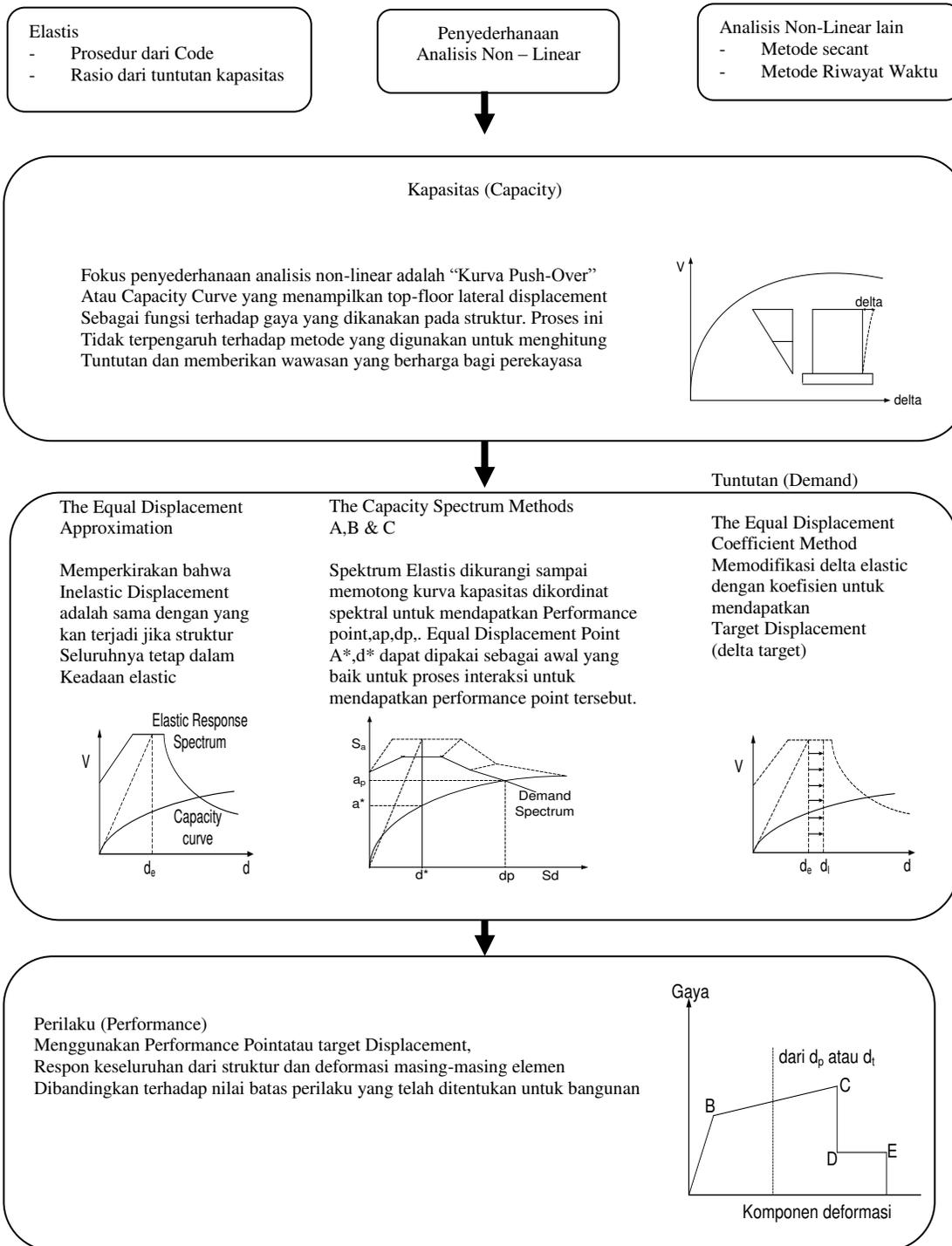
Sedangkan kebutuhan (Demand) digambarkan dalam bentuk spectrum kebutuhan yang merupakan Acceleration-Displacement Response Spectrum (ADRS) seperti terlihat pada gambar 4. Selanjutnya prosedur pemeriksaan kinerja seismik struktur dapat dilakukan seperti yang disajikan dalam diagram alir pada gambar 5.



Gambar 3. Modifikasi Kurva Kapasitas Menjadi Spektrum Kapasitas



Gambar 4. Perubahan Respons Percepatan Menjadi ADRS⁽⁷⁾



Gambar 5. Proses Pemeriksaan Kinerja Seismik Struktur.

IV. KRITERIA BATAS KINERJA YANG DIHARAPKAN

Hasil analisis perlu dibandingkan dengan kriteria batas untuk setiap tingkat kinerja struktur yang diharapkan secara garis besar ATC 40 mengkategorikan kriteria batas bagi respons struktur dalam dua kelompok, yaitu :

4.1. Kriteria batas respons bangunan secara keseluruhan meliputi antara lain :

- Kapasitas struktur dengan memikul beban gravitasi harus tetap terjamin pada setiap tingkat kinerja struktur
- Kemampuan struk dalam menahan beban lateral tidak boleh berkurang lebih besar dari 20 % kapasitas awalnya, walupun struktur mengalami dekadasi kekuatan akibat beban gempa bolak-balik.
- Batas deformasi lateral untuk bagian tingkat kinerja struktur tampak seperti yang disajikan pada table 3. Maximum total drift didefenisikan sebagai perpindahan antar tingkat (Interstorey drift) pada titik kinerja (performance point) struktur. Adapun maksimum Inelastic drift adalah bagian dari maksimum total drift di atas titik leleh efektif (effective yield point) struktur.

Table 3. Batas Deformasi untuk berbagai tingkat kinerja

<i>Interstorey Drift Limit</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Struktur Stability</i>
Maximum Total Drift	0.01	0.01 – 0.02	0.02	0.33 Vi/Pi
Maximum Inelastic Drift	0.005	0.005 – 0.015	no limit	no limit

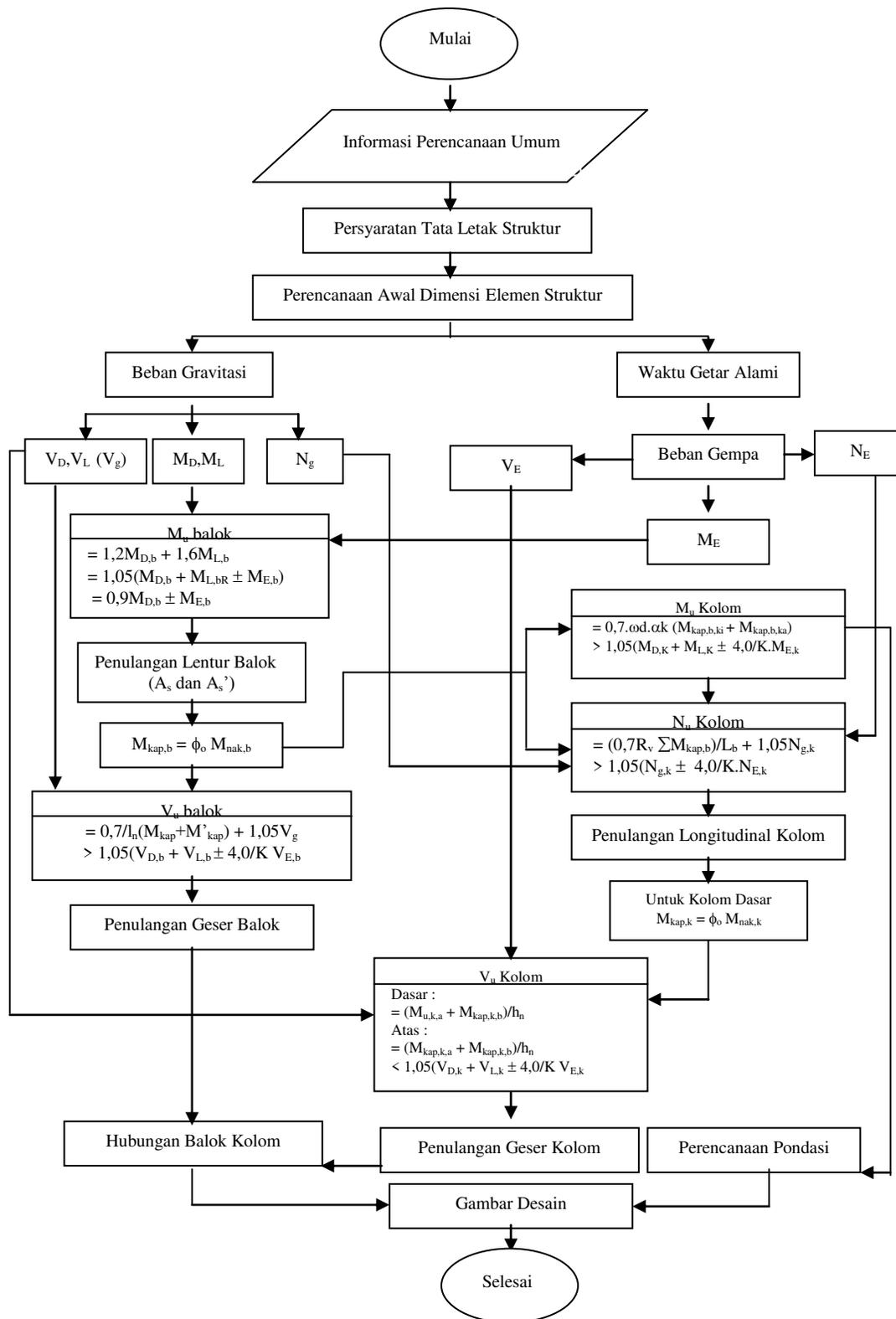
4.2. Kriteria batas untuk respons elemen atau komponen struktur

Setiap elemen atau komponen diklasifikasikan kedalam elemen atau komponen primer dan sekunder. Elemen primer adalah semua elemen struktur pemikul beban lateral pada titik kinerja (performance point). Elemen sekunder didefenisikan sebagai elemen-elemen yang leleh dini dan memikul hanya sebagian kecil beban lateral pada titik kinerja struktur

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Dalam tulisan ini telah dipaparkan perkembangan falsafah desain seismik struktur yang mengarah kepada aplikasi konsep “ Performance - Based Seismic Design” sebagai langkah pertama Perencana Struktur perlu mendiskusikan terlebih dahulu penetapan satu atau beberapa sasaran kinerja seismik struktur bersama arsitek dan pemilik bangunan. Langkah ini sangat vital karena membawa konsekuensi biaya pada tahap awal pembangunan maupun pada tahap kemudian ketika bangunan mengalami kerusakan akibat gempa dengan berbagai intensitas yang mungkin terjadi selama umur efektifnya.
- Selanjutnya dalam tulisan ini disajikan pula secara konseptual dua metoda analisis yang dapat digunakan untuk memprediksi respons struktur pada berbagai sasaran kinerja yang telah dipilih. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan kriteria batas yang dapat diterima untuk setiap tingkat atau sasaran kinerja.
- Bagan alir tahapan-tahapan yang diperlukan dalam pengaplikasian konsep “Performance Based Seismic Design” ada pada lembaran berikut :



5.2. Saran

- Dengan perkembangan ini, Perencana struktur dituntut untuk melakukan kerja tambah, khususnya untuk melakukan serangkaian analisis dalam rangka memferivikasi apakah sasaran kinerja struktur yang ditetapkan dapat tercapai.
- Efektifitas aplikasi konsep ini hanya dapat terjamin apabila mendapat dukungan dari arsitek untuk bersama-sama perencana struktur mendiskusikannya dengan pemilik bangunan.
- Sekiranya Standar Perencanaan Ketahanan Gempa yang baru dipersiapkan untuk pengganti SKBI 1.3.53.1987 sehingga efektifitas aplikasinya semakin mendekati harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- Appliet Technology Council (1996), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Vol. 1 ATC-40 Report*, Redwood City California.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987), *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung, SKBI 1.3.53.1987*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (1998), *Konsep Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Rumah dan Gedung, Konsep ke-2, SNI-1726*, Oktober 1998, Bandung.
- Holmes, W.T . (1997), *Introduction to Performance Based Design*, Technical Program Proceedings, Structural engineering Association of Hawaii, Hilton Hawaiian Village, August 8-9, 1987, 3 pp plus 36 pp of Presentation Slides.
- Lomantama, B. Hadikusuma, G, Andriono, T, (2001), *Perkembangan Perencanaan Tahan Gempa Struktur Beton*, Tren Teknik Sipil Era Milenium Baru, Edisi Pertama, Yayasan John Hi-Tech Idetama, UI Press hal. 128-146.
- Priestley, M.J.N. (2000), *Performance Based Seismic Design*, Proc. 12 World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, pp 325-346.
- Structural Engineers Association of California (SAOC) (1995), *Vission 2000 Performance-Based Seismic Engineering of Buildings*, Sacramento.