

ANALISIS *PUSHOVER* PADA GEDUNG TIDAK BERATURAN DENGAN STUDY KASUS PADA GEDUNG BARU FIA UNIBRAW

Wisnumurti, Indra Cahya dan Ashar Anas
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Analisis *Pushover* merupakan sebuah sarana untuk memberikan solusi yang berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya adalah mencari kapasitas struktur. Prosedur analisis *Pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*increment*) hingga mencapai target perubahan bentuk (*displacement*) tertentu.

Penulisan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari struktur dari besarnya daktilitas dan tingkat kinerja pada struktur 3 dimensi dengan bentuk tidak beraturan (*asimetris*) yang di pecah-pecah menjadi struktur 2 dimensi yang lebih sederhana. Analisis dinamik memberikan banyak mode-mode natural dari perilaku struktur. Untuk mendapatkan gaya yang diberikan pada analisis *pushover* dilakukan analisis modal. Masing-masing gaya dari analisis modal dilakukan respon kombinasi dengan CQC (*Complete Quadratic Combination*) atau SRSS (*Square Root of the Sum of Square*).

Hasil analisis *pushover* didapatkan besarnya deformasi lateral pada portal A dan G sebesar 11.9 cm dan 10.3 cm. Besarnya drift ratio untuk portal A dan G adalah 0.3 %, maka tingkat pelayanan struktur berdasar ACMC 2001 tergolong pada kondisi batas layan (*serviceability limit state*) sedangkan menurut ATC 40 bangunan pada kondisi operasional (*immediate occupancy*).

Kata Kunci : analisis *pushover*, kapasitas struktur, analisis dinamik

PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia yang terletak diantara dua jalur gempa yaitu sirkum pasifik dan mediterania, menjadikan wilayah Indonesia sangat rawan terhadap gempa. Pada bangunan-bangunan bertingkat tinggi beban gempa lebih dominan dibanding dengan beban grafitasi yang bekerja padanya. Ketidakteraturan bentuk dari suatu bangunan menghasilkan suatu analisa yang lebih rumit dibandingkan dengan bentuk bangunan simetris yang dapat dianalisis secara 2 dimensi.

Analisis gempa pada struktur tidak beraturan (*asimetris*) dapat dilakukan dengan analisis dinamik non-linear riwayat waktu, tetapi dalam pengerjaannya analisis ini sangat rumit dan tidak banyak progam komputer yang

memiliki fasilitas untuk analisis ini. Pendekatan analisis gempa dinamik non-linear ini dapat dilakukan dengan analisis *pushover* (ATC 40, 1997). Pada dasarnya analisis *pushover* ini cukup sederhana, yaitu suatu beban statik tertentu diberikan secara *incremental* dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai dari suatu bangunan hingga tercapai keruntuhan pada elemen struktur atau batasan *displacement*-nya terlampaui.

Perencana harus dapat mengetahui perilaku struktur pada saat terjadinya gempa. Suatu struktur bangunan dengan daktilitas tertentu ketika terkena beban gempa dengan periode ulang tertentu harus mempunyai ketahanan gempa sesuai dengan perencanaan, sehingga dapat diketahui tingkat kerusakannya (*damage index*)

pada saat terkena gempa dengan periode tersebut. Tetapi, untuk mendapatkan nilai *damage index* pada periode tertentu berdasarkan ratio daktilitas diperlukan suatu analisis yang rumit dan program komputer masih sangat sedikit untuk analisis hal ini. Tingkatan *damage index* dapat diganti dengan tingkat kinerja struktur dengan mencari besarnya deformasi lateral (*drift*) pada atap.

Dalam kajian ini dicoba untuk menganalisis perilaku struktur dari

gedung baru fakultas ilmu administrasi (FIA) Universitas Brawijaya Malang akibat pembebanan gempa dinamik, dengan analisis struktur 3 dimensi. Digunakan analisa *pushover* sebagai alternative perhitungan pembebanan gempa dinamik. Program komputer yang akan dipakai untuk analisis struktur menggunakan SAP 2000. Analisis ini diharapkan dapat menggambarkan perilaku dan tingkat kinerja (*performa*) dari struktur gedung tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Struktur

Perilaku dari struktur tidak beraturan (*asimetris*) yang diberikan suatu gaya gempa akan menghasilkan suatu perpindahan yang nilainya berbeda-beda pada tiap lantainya. Perpindahan yang terjadi untuk analisis 3 dimensi akan memberikan perpindahan translasi pada arah sumbu-x dan sumbu-y, serta rotasi yang secara langsung terjadi akibat gaya gempa hanya pada salah satu arah saja. Pada bangunan beraturan (*simetris*) ketika diberikan suatu beban gempa maka perpindahan yang terjadi hanya berupa translasi pada arah gempa yang ditinjau. Rotasi yang terjadi pada struktur tidak beraturan akibat adanya perbedaan letak titik pusat massa dan pusat kekakuan. Besarnya nilai eksentrisitas mempengaruhi besarnya momen torsi yang terjadi pada lantai tersebut.

Pada penulisan ini analisis struktur menggunakan program bantuan komputer yaitu SAP 2000. Analisis yang digunakan dalam program ini ialah metode elemen hingga (*finite elemen method*) yang merupakan perluasan dari metode perpindahan (*displacement method*) atau yang lebih dikenal dengan metode kekakuan (*stiffness method*). Sebelum masuk kedalam pembahasan metode elemen hingga (*finite elemen method*) akan diberikan penjelasan mengenai metode kekakuan (*stiffness method*).

Metode kekakuan mempunyai tingkat analisis yang lebih baik dibandingkan dengan metode gaya (*force method*). Pada metode gaya (*force method*) besaran yang tak diketahui adalah gaya kelebihan (*redundant*) yang dipilih secara sembarang, sedangkan dalam metode kekakuan (*stiffness method*) yang tak diketahui adalah perpindahan titik kumpul struktur.

Metode elemen hingga (*finite elemen method*) merupakan metode yang membagi-bagi suatu kontinum menjadi beberapa bagian kecil yang berhingga (bukan kecil tak berhingga) dan dihubungkan bersama-sama disejumlah titik simpul. Proses pembagian suatu kontinum menjadi elemen-elemen hingga disebut proses *diskritisasi* (pembagian). Dengan menggunakan metode elemen hingga kita mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu, sehingga dalam pemecahannya akan lebih sederhana.

Waktu Getar Alami Struktur

Suatu osilator yang diberikan suatu gaya / digetarkan akan bergerak sesuai dengan gaya yang diberikan, semakin besar gaya yang diberikan maka waktu yang dibutuhkan untuk kembali keadaan diam semakin lama. Akan tetapi, periode waktu yang diperlukan

untuk kembali ke posisi awal adalah tetap (*konstan*). Perubahan amplitudo sampai mencapai keadaan diam merupakan pengaruh dari gaya gesekan (*friction*) atau gaya redam (*damping*).

Struktur atau benda yang mengalami kondisi getaran bebas (*free vibration*) strukturnya sama sekali tidak dipengaruhi oleh gaya luar (gaya atau gerak penyokong) dan geraknya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal. Pola gerak dari struktur yang bergetar bebas akan mempunyai nilai amplitudo yang konstan pada frekuensi naturalnya. Kondisi struktur yang mampu bergetar bebas sampai saat ini masih sulit didapatkan.

Waktu Getar Rayleigh

Penyelesaian dari persamaan differensial dari sistem yang bergetar bebas menggunakan prinsip *kerja virtual* telah dijelaskan diatas. Metode lain dapat digunakan untuk memecahkan keseimbangan dinamis dari sistem yang bergetar bebas dengan menggunakan prinsip kekekalan energi (*principle of conservation of energy*). Prinsip kekekalan energi ialah bila tak ada gaya luar yang bekerja pada sistem dan tak ada kehilangan energi akibat redaman maka energi total dari sistem harus tetap konstan selama gerakan.

Pada perencanaan suatu struktur nilai dari metode rayleigh merupakan batasan dari kenyamanan struktur dengan pembebanan gempa. Berdasarkan SNI-1726-2002 waktu getar alami dari struktur boleh menyimpang lebih dari 20% (keatas atau kebawah) bila digunakan analisis matematis lain.

Analisis Respon Modal

Analisis respon modal difungsikan untuk menentukan besarnya respon struktur terhadap beban gempa yang diberikan. Dari analisis ini akan didapatkan besarnya gaya horisontal yang terjadi pada struktur dari berbagai mode yang terjadi pada struktur. Pada

penulisan ini analisis dilakukan dengan anggapan terjadi pergerakan pada satu arah sumbu saja, sehingga besarnya nilai rotasi tidak dimunculkan. Meskipun, nilai rotasi tidak dapat diberikan nilai ini bisa diperoleh dari perhitungan perpindahan yang terjadi pada portal ujung-ujung yang kemudian dicari besar dari sudut selisih nilainya.

Strength Based Design

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*)

Performance Based Design

Metodologi yang didasarkan pada *performance based design* ini merupakan kriteria desain dan evaluasi yang diekspresikan sebagai obyektivitas 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*).

Analisis Pushover

Analisis statik non linear *pushover* (ATC 40, 1997) merupakan salah satu komponen *Performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar analisis dilakukan dengan peningkatan beban statik tertentu dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proporsional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau

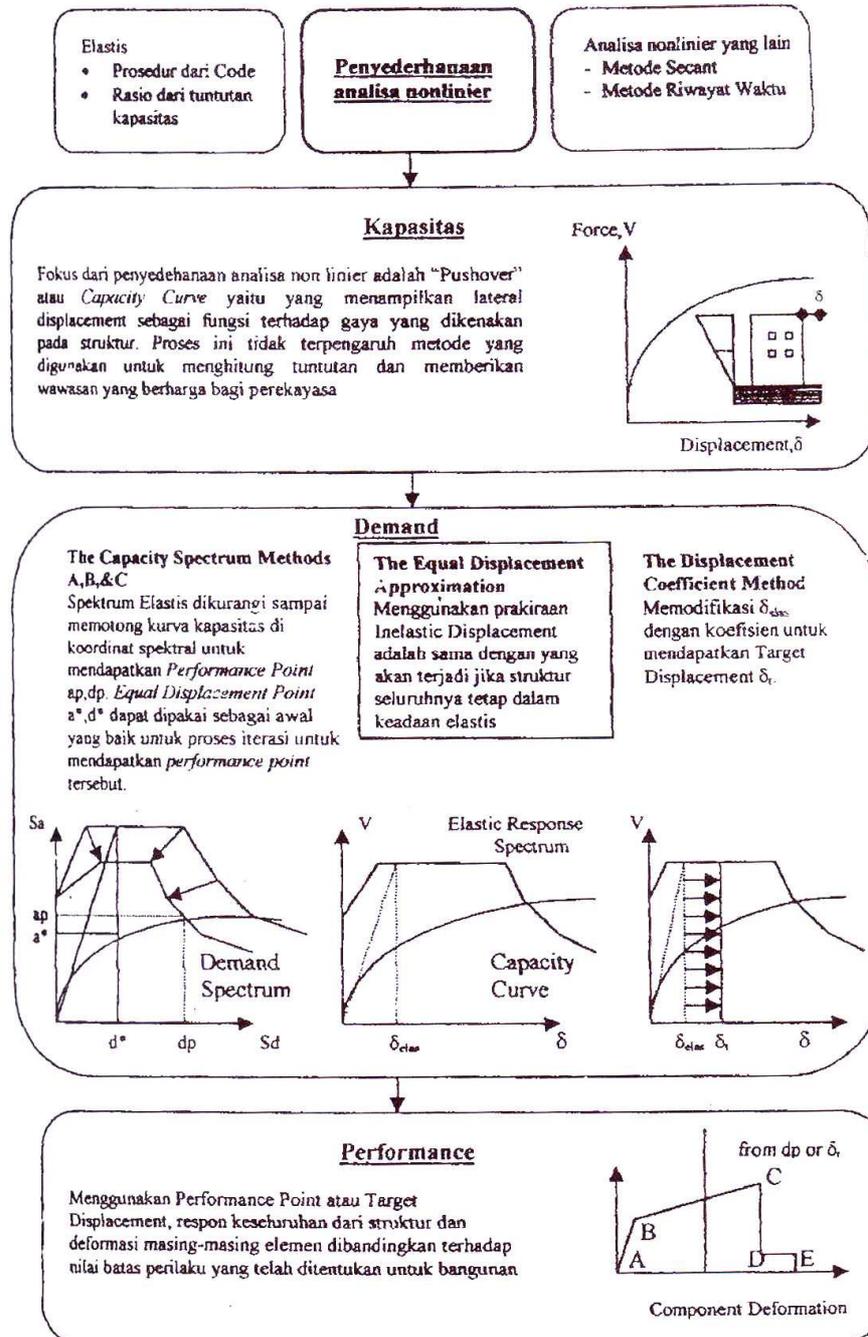
mencapai mekanisme diambang keruntuhan. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen yang lain mengalami leleh dan mengalami deformasi *inelastic*.

Hasil akhir dari analisis ini berupa nilai-nilai gaya-gaya geser dasar (*base shear*) untuk menghasilkan perpindahan dari struktur tersebut. Nilai-nilai tersebut akan digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas yang merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral terhadap beban (*demand*) yang diberikan. Selain itu, analisis *pushover* dapat menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan pendetailan khusus pada elemen struktur tersebut.

Pada analisis *pushover* ini mode yang akan digunakan ialah mode pertama. Analisis yang menggunakan mode-mode yang lebih tinggi menghasilkan analisis yang lebih akurat dalam menggambarkan perilaku struktur, tetapi untuk mendapatkannya dibutuhkan variabel dan data yang rumit, selain itu masih sangat sedikit analisis yang bisa digunakan untuk mendapatkan nilai ragam yang lebih tinggi. Walaupun demikian, analisis *static pushover* masih dapat digunakan untuk analisis gedung tidak beraturan yang mempunyai ragam yang tidak terlalu tinggi, berdasarkan analisis Benjamin Lumantara, Iksan Gunawan dan Eka Wijaya (2004).

Prosedur analisis kinerja bangunan dengan menggunakan statik non-linear ditampilkan pada gambar berikut.

Prosedur Analisa



Gambar 1. Prosedur analisis kinerja (ATC 40, 1997)

Persyaratan Gempa Rencana Menurut SNI 1726-2002

Percepatan respon maximum

Menurut SNI 1726-2002 (departemen permukiman dan prasarana wilayah) pengaruh gempa rencana dimuka tanah ditentukan dari hasil analisis rambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah

dengan menggunakan gerakan gempa masukan dengan percepatan puncak untuk batuan dasar. Apabila tidak dilakukan analisis perambatan gelombang, maka percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa dan jenis tanah ditetapkan seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

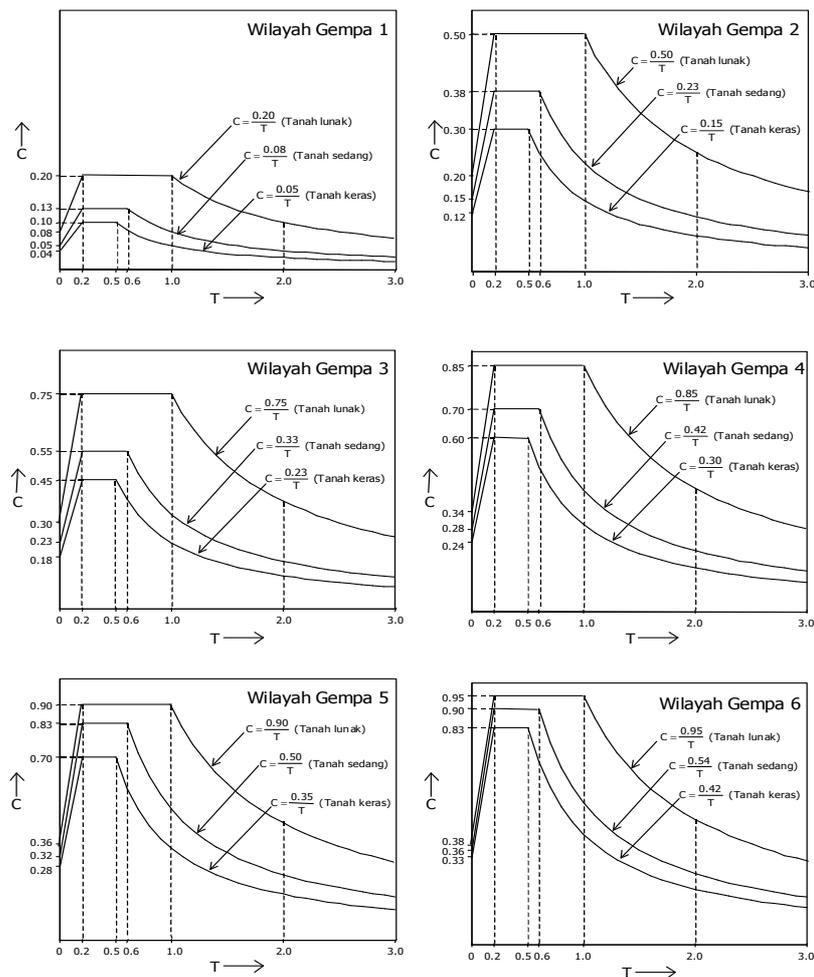
Sumber : SNI 1726, 2002, 19

Spektrum Respon Gempa Rencana

Spektrum respon gempa merupakan suatu penggambaran gerakan dari tanah yang dibuat dalam sebuah grafik hubungan. Pada spektrum respon gempa rencana digunakan SNI 1726-2002 yang menggambarkan hubungan

antara waktu getar alami gempa (T) dan spektrum percepatan $S_a(T)$ sebagai fungsi waktu getar alami.

Penggambaran respon spektrum pada masing-masing wilayah gempa dan jenis-jenis tanah ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Spektrum respon

METODOLOGI

Input data struktur

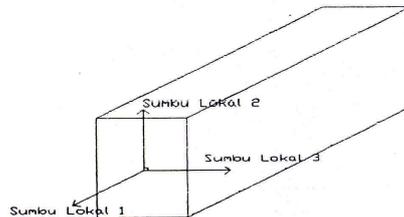
Model struktur merupakan struktur 3 dimensi sesuai dengan spesifikasi yang dipakai pada struktur tersebut. Struktur menggunakan perletakan jepit dengan *properties* balok dan kolom seperti dalam lampiran 1.

Idealisasi elemen struktur :

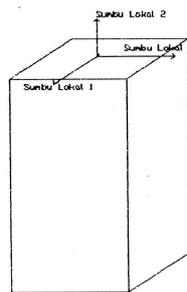
1. Sistem koordinat global dan sistem koordinat lokal

Sistem koordinat global adalah sebuah koordinat sistem 3 dimensi, memenuhi aturan tangan kanan dan *rectangular*. Tiga sumbunya dinyatakan dalam X, Y dan Z yang saling tegak lurus dan memenuhi aturan tangan kanan. SAP 2000 selalu mengasumsikan Z sebagai sumbu vertikal dengan Z ke arah atas, sedangkan bidang X-Y adalah horisontal.

Tiap-tiap bagian (*joint, element, constraint*) model struktur memiliki koordinat lokalnya sendiri untuk mendefinisikan *properties*, beban dan respon untuk bagianya. Sumbu dari sistem koordiant lokal dinyatakan dengan sumbu 1, 2 dan 3. Dalam analisis ini sumbu lokal *joint, equal constraint* dan *NL link* searah dengan sumbu global X, Y dan Z. Sumbu lokal untuk elemen, sumbu 1 arahnya aksial, sumbu 2 arahnya keatas (Z) kecuali jika elemen itu vertikal (kolom) maka sumbu 2 searah -X. Bidang lokal 1-2 adalah vertikal. Sumbu 3 arahnya horisontal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3. dan 4.



Gambar 3. Posisi sumbu lokal dari balok struktur



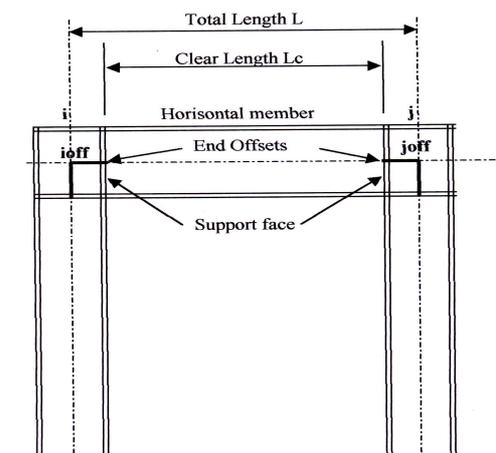
Gambar 4. Posisi sumbu lokal dari kolom struktur

2. Elemen balok pada portal diasumsikan tidak terjadi leleh karena aksial. Leleh pada balok hanya terjadi karena momen terhadap sumbu lokal
3. Batasan kondisi plastis diberikan berdasarkan besar momen leleh pada balok.
3. Elemen kolom pada portal diasumsikan terjadi interaksi aksial dan momen pada kolom. Batasan kondisi plastis kolom didasarkan kurva P-M.
4. Struktur yang dianalisis diasumsikan mempunyai pelat lantai yang kaku (*rigid floor*), karena itu bangunan

akan bergerak bersamaan saat dikenai gempa. Batasan ini dalam program SAP 2000 diberikan melalui data blok *constraint* dengan tipe *equal*. *Equal constraint* dapat diberikan pada 6 dof (*degree of freedom*) dari masing-masing *joint*. Dalam analisis ini semua joint pada lantai yang sama diberi *constraint* dalam arah sumbu global X.

5. Elemen-elemen portal dimodelkan sebagai garis-garis yang berhubungan pada poin-poin (*joint*). Dalam kenyataan elemen struktur seperti balok dan kolom memiliki dimensi yang saling berpotongan dan pengaruhnya terkadang cukup berarti terhadap kekakuan struktur secara

keseluruhan. Dalam SAP 2000 keadaan perpotongan balok-kolom ini dapat dimodelkan dengan memberikan 2 *end offset* untuk tiap elemen menggunakan parameter *ioff* dan *joff* yang terkait dengan ujung i dan j dari elemen portal (CSI, 1988, hal 162-164). Nilai *end offset* yang dimasukkan sebagai input dalam SAP 2000 adalah merupakan letak muka kolom dan muka balok. Nilai *end offset* untuk *ioff* dan *joff* adalah 0,225 m untuk elemen balok yang terletak antara kolom berdimensi 450x450 mm². Untuk elemen kolom nilai end offset diberikan sebesar 0.4 m yang merupakan setengah dari tinggi balok dengan dimensi 400x800 mm².



Gambar 5. End offset dari elemen portal

Input analisis *pushover*

Dalam SAP 2000 input untuk analisis *pushover* dilakukan menggunakan metode B. Adapun idealisasi struktur untuk analisa *pushover* pada SAP 2000 adalah sebagai berikut :

1. Tipe hinge properties yang dipakai untuk balok adalah momen M3, yang berarti sendi plastis terjadi hanya karena momen searah sumbu lokal 3.
2. Pada analisis *pushover* dari SAP 2000 untuk memasukkan nilai batas momen leleh balok ada 2 pilihan yaitu nilai batas momen leleh positif dan momen leleh negatif. Nilai-nilai momen leleh positif dan negatif untuk

semua elemen balok secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 1.

3. Tipe hinge properties untuk kolom bawah adalah PMM yang artinya sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial dan momen. Kekuatan kolom di-*input*-kan dalam bentuk kurva P-M yang terdapat pada lampiran 1.
4. Beban untuk analisis statik *pushover* adalah berupa beban *joint* dalam arah lateral yang diberikan di pusat massa masing-masing lantai, oleh karena itu pada *static pushover* dipilih *push to load level defined by pattern*.

5. Efek non linier dari geometri struktur pada analisis *pushover* diberikan melalui efek P- Δ .
6. Metode perhitungan yang dipilih untuk dilakukan jika terjadi sendi plastis adalah *apply local redistribution*.
7. Panjang sendi palstis pada analisis *pushover* hanya dapat dinyatakan sebagai panjang relatif 0 dan 1, yang berarti sendi plastis terletak di *joint-joint* pertemuan balok dan kolom.

PEMBAHASAN

A. Berat Total

Tabel 2. Berat tiap-tiap lantai

LANTAI	BERAT (kg)
4	308061.7
3	916977.4
2	920240.8
1	646690.3
TOTAL	2791970.2

Kekakuan Antar Lantai (K)

Berdasarkan SNI-1726-2002 pasal 5.5 hal 26 “momen inersia penampang unsur struktur dapat

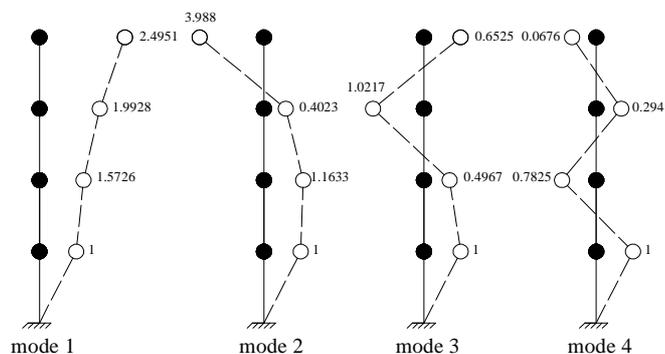
ditentukan sebesar momen inersia utuh dikalikan dengan prosentase efektifitas yaitu untuk kolom = 75%.

Tabel 3. Kekakuan antar lantai

Kolom	Kekakuan (kg/cm ²)
K ₄	569881.8
K ₃	2300479
K ₂	2629416.1
K ₁	1746410.1

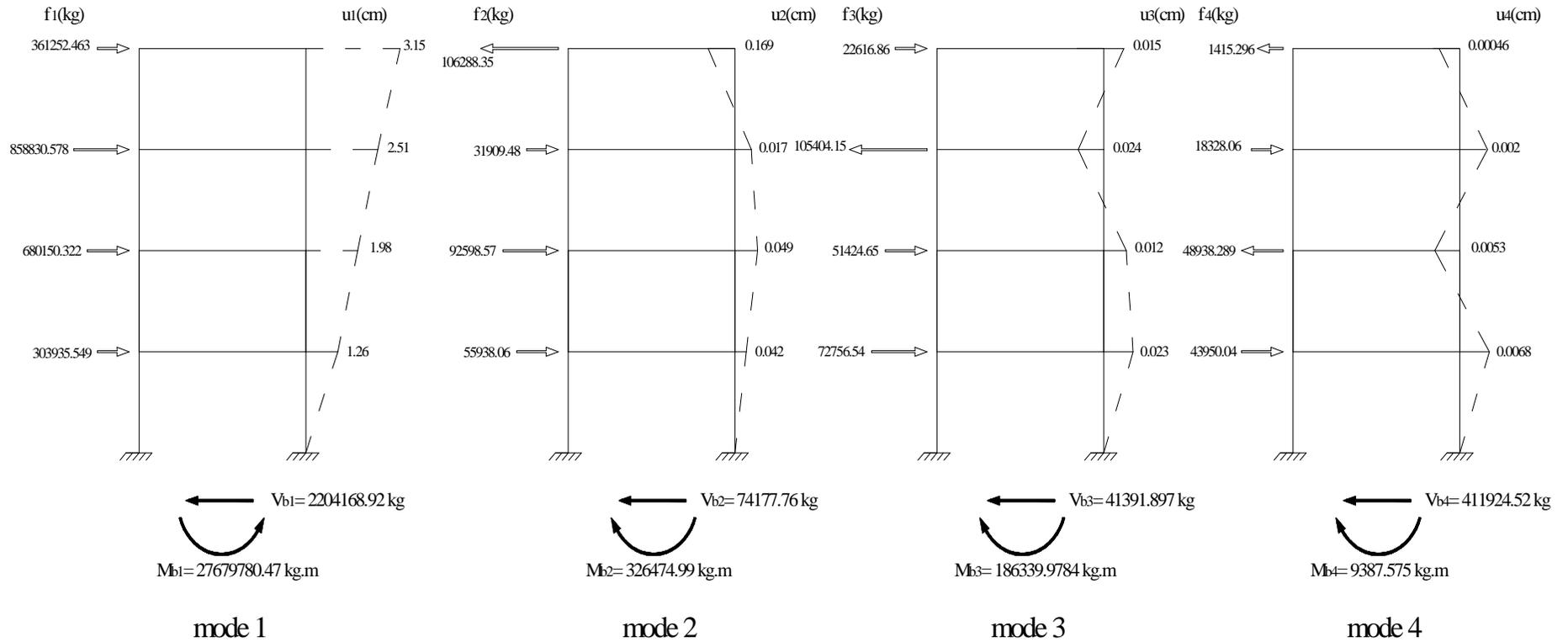
Tabel 4. Ratio amplitudo (normalisasi)

Ratio amplitudo	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
a ₁	1	1	1	1
a ₂	1.5726	1.1633	0.4967	-0.7825
a ₃	1.9928	0.4023	-1.0217	0.2941
a ₄	2.4951	-3.988	0.6525	-0.0676



Gambar 5. Grafik normalisasi modal

Modal Respon Statik



Gambar 6. Penggambaran respon statik tiap mode

Eksentrisitas Tiap Lantai

a. Eksentrisitas lantai 1

Titik pusat massa (X_m) = 16.66 m

Titik pusat kekakuan (X_k) = 17.38 m

Eksentrisitas lantai 1 = **0.72 m**

b. Eksentrisitas lantai 2

Titik pusat massa (X_m) = 16.68 m

Titik pusat kekakuan (X_k) = 17.36 m

Eksentrisitas lantai 2 = **0.68 m**

c. Eksentrisitas lantai 3

Titik pusat massa (X_m) = 17.48 m

Titik pusat kekakuan (X_k) = 17.16 m

Eksentrisitas lantai 3 = **0.32 m**

d. Eksentrisitas lantai 4

Titik pusat massa (X_m) = 17.5 m

Titik pusat kekakuan (X_k) = 17.5 m

Eksentrisitas lantai 4 = **0 m**

Perhitungan nilai koefisien C_a dan C_v

Perhitungan ini merupakan *input* untuk analisis pushover. Pada SNI-1726-2002 penggambaran respon spektra hanya memberikan parameter spektrum percepatan (C_a) dengan periode (T). Sebenarnya penggambaran dari spektrum respon merupakan suatu grafik logaritma yang mempunyai parameter-parameter yaitu : spektrum kecepatan (C_v), spektrum percepatan (C_a), spektrum perpindahan (C_d) dan frekuensi (F). Besarnya nilai-nilai yang mempengaruhi dari penggambaran spektrum respon tergantung berdasarkan wilayah gempanya.

$$C_v = \frac{C_a \times T}{2\pi}$$

Dengan :

C_v = spektrum kecepatan

C_a = spektrum percepatan 0.85 g

T = Periode gerak natural = 0.329 dt

$$C_v = \frac{0.85 \times 9.81 \times 0.329}{2\pi} = 0.44 \text{ m/dt}$$

Daktilitas dan kinerja struktur portal A

Roof drift ratio

$$= \frac{\text{roof drift}(D)}{H} = \frac{0.054}{18} = 0.003$$

Persentase drift = 0.3 %

Inelastic drift ratio

$$= \frac{\delta_{\text{sec ond yield}} - \delta_{\text{first yield}}}{H} = \frac{0.047 - 0.015}{18}$$

$$= 0.00178$$

Berdasarkan nilai drift diatas maka tingkat kinerja struktur adalah sebagai berikut :

1. ATC 40, 1997 (tabel 2.1) termasuk dalam kondisi pelayanan operasional (*immediate occupancy*).
2. ACMC 2001 (gambar 2.3) termasuk dalam kondisi batas layanan (*serviceability limit*), dimana kerusakan terjadi pada elemen nonstruktural saja.

Besarnya daktilitas struktur (μ)

$$= \frac{\Delta_u}{\Delta_{y-pertama}} = \frac{0.119}{0.015} = 7.93$$

Daktilitas dan kinerja struktur portal G

Roof drift ratio

$$= \frac{\text{roof drift}(D)}{H} = \frac{0.054}{18} = 0.003$$

Persentase drift = 0.3 %

Inelastic drift ratio

$$= \frac{\delta_{\text{sec ond yield}} - \delta_{\text{first yield}}}{H} = \frac{0.043 - 0.014}{18}$$

$$= 0.00161$$

Berdasarkan nilai drift diatas maka tingkat kinerja struktur adalah sebagai berikut :

1. ATC 40, 1997 (tabel 2.1) termasuk dalam kondisi pelayanan operasional (*immediate occupancy*).
2. ACMC 2001 (gambar 2.3) termasuk dalam kondisi batas layanan (*serviceability limit*), dimana kerusakan terjadi pada elemen nonstruktural saja.

Besarnya daktilitas struktur (μ)

$$= \frac{\Delta_u}{\Delta_{y-pertama}} = \frac{0.103}{0.014} = 7.36$$

KESIMPULAN

Hasil dari perhitungan dan analisis *pushover* dengan menggunakan SAP 2000 non linear didapatkan :

A. Portal A

1. Besar deformasi lateral terbesar yang terjadi sebesar 0.119 m = 11.9 cm
2. Prosentase drift rata-rata yang diperoleh sebesar 0.3 % maka tingkat pelayanan struktur berdasarkan:
 - ACMC 2001 = Bangunan berada pada kondisi batas layan (*serviceability limit state*)
 - ATC 40 = Bangunan berada pada kondisi batas layan operasional (*immediate occupancy*).

3. Besarnya daktilitas struktur (μ) = 7.93

B. Portal G

1. Besar deformasi lateral terbesar yang terjadi sebesar 0.103 m = 10.3 cm
2. Prosentase drift rata-rata yang diperoleh sebesar 0.3 % maka tingkat pelayanan struktur berdasarkan:
 - ACMC 2001 = Bangunan berada pada kondisi batas layan (*serviceability limit state*).
 - ATC 40 = Bangunan berada pada kondisi batas layan operasional (*immediate occupancy*).
3. Besarnya daktilitas struktur (μ) = 7.36

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum RI. 2002. *Tata Cara Pehitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SK SNI 03-2847-2002*, Bandung : Yayasan LPMB.
- Uniform Building Code (UBC), 1997 volume 2, *Structural Engineering Design Provisions*, International Conference of Building Officials, April 1997.
- Technology Council Redwood City, CA . 1997 . *ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City.
- International Committe on Concrete Model Code for Asia. 2001. *Asian Concrete Model Code(ACMC 2001)*, Japan : Japan Concrete Institute.
- Mario Paz, 1985, edisi kedua :*Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chopra, Anil.K,1995 *Dynamics of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering*, University of California, New Jersey.
- Schueller, Wolfgang, 2001, *Struktur Bangunan bertingkat Tinggi*, Penerbit Refika Aditama, Bandung.
- R. Park dan T. Paulay, 1975, *Reinforced Concrete Structure*, New Zealand.
- Istimawan Dipohusodo, 1999, *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI-T-15-1991-03*, Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum RI, PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Haryanto .Y.W, 2001, *Analisis dan Perancangan Struktur Frame Menggunakan SAP 2000 Versi 7.42*, Penerbit Andi, Yogyakarta