

## EVALUASI KINERJA SEISMIK GEDUNG TERHADAP ANALISIS BEBAN DORONG

Yenny Nurchasanah<sup>1</sup>, Wahyu Ahmat Hasan Jaenuri<sup>2</sup>, Muhammad Ujianto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl.A.Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah 57102

e-mail : [yenny.nurchasanah@ums.ac.id](mailto:yenny.nurchasanah@ums.ac.id)

### Abstrak

*Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surakarta merupakan gedung yang direncanakan mampu menahan gaya beban gempa maksimum untuk daerah gempa 3. Dengan adanya sarana baru dalam dunia konstruksi terutama dalam menganalisa sebuah struktur berbasis gaya gempa yang terjadi yaitu salah satunya dengan analisa pushover. Analisis ini menggunakan beban lateral yang ditingkatkan (increment) secara berangsur-angsur sampai terjadinya sendi plastis dan mengalami keruntuhan. Analisis ini bertujuan mengetahui kurva kapasitas (curve capacity), titik kinerja (performance point), dan tahapan-tahapan terbentuknya sendi plastis sampai gedung mengalami keruntuhan struktur. Metode penelitian menggunakan Prosedur A analisis pushover metode capacity spectrum ATC-40. Analisis kinerja ini dengan memberikan gaya lateral static dengan faktor pengali secara bertahap sampai titik acuan struktur mengalami perpindahan (displacement) tertentu. Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya geser dasar terbesar adalah 1003,5029 ton pada step ke-10 pushover analysis. Berdasarkan kurva kapasitas didapatkan performance point yang menunjukkan gaya geser dasar  $V_i = 706,779$  ton, displacement pada step ke-3 adalah  $1,2695$  m  $>$   $0,093$  m ( $D_i$ ). Kinerja struktur tidak melewati batas LS (Life Safety). Maksimum total driff adalah 0,0041 dan maksimum total driff inelastic adalah 0,003. Dengan demikian menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level Immediate Occupancy (OI). Sehingga jika terjadi gempa dengan gaya maksimum maka struktur hanya akan mengalami sedikit kerusakan struktur dan non struktur dan gedung dapat langsung digunakan kembali.*

**Kata Kunci:** Analisis Statik, Capacity curve, Pushover Analysis, Static Nonlinier.

## PENDAHULUAN

Melihat betapa bahayanya jika suatu bangunan mengalami keruntuhan pada saat terjadi gempa. Untuk itu sangat perlu bangunan direncanakan dan dianalisa guna menjamin keselamatan gedung dan pemakainya. Pada era sekarang arah metode perencanaan tahan gempa beralih dari pendekatan kekuatan (*force based*) menuju pendekatan kinerja (*performance based*) dimana struktur direncanakan terhadap beberapa tingkat kinerja. Untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, maka dibutuhkan analisis nonlinier yang sederhana tetapi cukup akurat. Salah satu cara analisis nonlinear yang dapat digunakan adalah *Capacity Spectrum Method* yang memanfaatkan analisis beban dorong statis nonlinier (*nonlinear static pushover analysis*) yang menggunakan kinerja struktur sebagai sasaran perencanaan. Perencanaan berbasis kinerja mensyaratkan taraf kinerja (*level of performance*) yang diinginkan untuk suatu taraf beban gempa dengan periode ulang tertentu dengan menetapkan tiga tingkatan kinerja, yaitu kinerja batas layan (*serviceability limit state*), kinerja kontrol kerusakan struktur (*damage control limit state*) dan kinerja keselamatan (*safety limit state*). *Nonlinear Static Pushover Analysis* juga cukup akurat untuk memprediksi pola keruntuhan suatu gedung akibat adanya gempa.

## DASAR TEORI

### Analisis Gaya

Menurut Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI-03-1726-2002), dalam perencanaan struktur gedung arah pembebanan gempa harus ditentukan sedemikian rupa agar memberikan pengaruh terhadap struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa harus efektif 100% pada arah sumbu utama dan bersamaan dengan arah tegak lurus sumbu utama sebesar 30%. Struktur harus dirancang agar mampu menahan gaya geser dasar akibat gempa sesuai SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3, yaitu  $V = \frac{C_d I}{R} W_t$ .

Beban geser dasar nominal  $V$  harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$ ,

yaitu 
$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

**Analisis Gaya Gravitasi**

Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah sehingga dapat mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai atau atap.

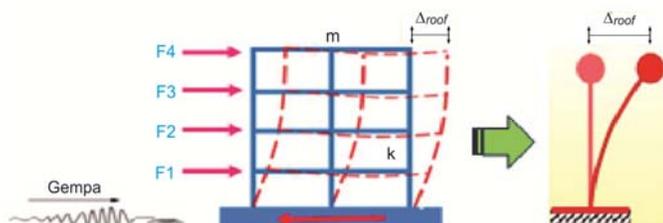
**Analisis Respon Struktur**

Untuk Struktur gedung tidak beraturan (yang tidak memenuhi ketentuan untuk gedung beraturan), menurut SNI 03-1726-2002 Pasal 7.1.1 pengaruh beban gempa rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respon dinamik 3 dimensi. Dalam pasal 7.2.1 ditentukan lebih lanjut bahwa perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan dapat dilakukan dengan metoda analisis ragam spektrum respon (*response spectrum*).

Grafik *response spectrum* merupakan hasil plot nilai tanggapan/respons maksimum (lendutan, kecepatan, percepatan, dsb.) terhadap fungsi beban tertentu untuk semua sistem derajat kebebasan tunggal yang memungkinkan. Absis dari grafik tersebut berupa frekuensi (atau periode/waktu) dan ordinat berupa nilai respons maksimum (Paz,1985).

Dalam analisis beban gempa, respon spektrum disusun berdasar respon terhadap percepatan tanah (*ground acceleration*) beberapa rekaman gempa. *Spectrum design* (desain spektrum) merupakan representasi gerakan tanah (*ground motion*) akibat getaran gempa yang pernah terjadi untuk suatu lokasi. Beberapa faktor pertimbangan untuk pemilihan desain spektrum adalah besar skala gempa, jarak lokasi ke pusat gempa, mekanisme sesar, jalur rambatan gelombang gempa dan kondisi tanah lokal (Chopra, 1995).

Struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan memikul *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa ( $m$ ) dan kekakuan ( $k$ ) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser/*displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi/ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan/kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku in-elastis apabila struktur cukup daktail tetapi langsung hancur apabila kurang daktail.



Gambar 1. Respon Struktur Akibat Gempa

**Pushover Analysis Dengan Metode Capacity Spectrum**

*Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari analisis statis *pushover* nonlinier adalah memberikan pola

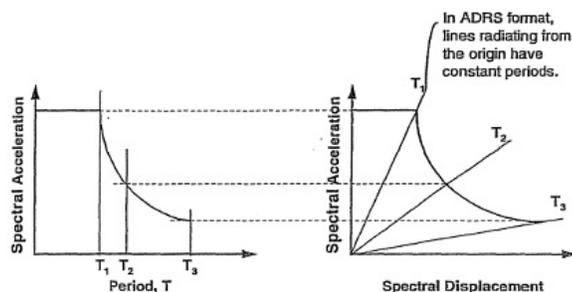
pembebanan statis tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*incremental*). Penambahan beban Statis ini dihentikan sampai struktur tersebut mencapai simpangan target atau beban tertentu. Dari analisis statis pushover nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu, salah satunya adalah *Capacity Spectrum Method* (CSM) (ATC-40,1996;ATC-55,2005). Berikut ini adalah teori yang digunakan dalam studi ini.

Demand Spectrum

Respon spectrum elastic adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh koefisien Ca (percepatan tanah puncak, peak ground acceleration) dan Cv (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik). Nilai Ca dan Cv ini berbeda-beda untuk masing-masing jenis tanah. Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka respon spectrum perlu dirubah formatnya menjadi

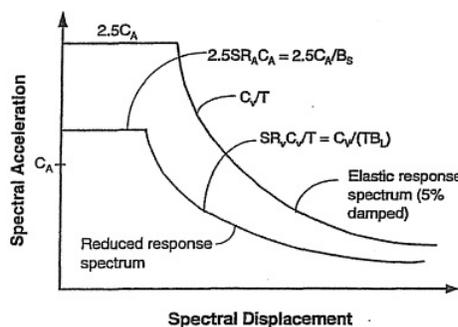
$$S_{d_i} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{a_i} g$$

*Acceleration Displacement Respon Spectrum* (ADRS) melalui persamaan T adalah waktu getar alami dari struktur bangunan. Perubahan format ini dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Perubahan format respon spektra menjadi ADRS

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),p.8-12



**Gambar 3.** Reduksi Respon Spectrum Elastic menjadi Demand Spectrum

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),Figure 8-14,p.8-16

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

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln \left[ \frac{63.7 \kappa (a_y a_{pi} - a_y a_{pi})}{a_{pi} a_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[ \frac{63.7 \kappa (a_y a_{pi} - a_y a_{pi})}{a_{pi} a_{pi}} + 5 \right]}{1.65}$$

$$\text{atau dapat ditulis } SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65}$$

**Tabel 1.** Value For Damping Modification Factor K

Structure Behavior Type	Bo	K
Type A	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$\frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type B	≤ 25	0.67
	> 25	$\frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type C	Any Value	0.33

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),Table 8.1,p.8-17

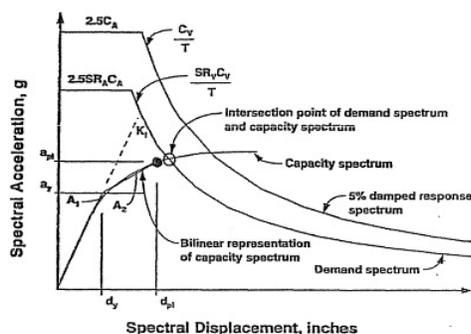
**Tabel 2.** Minimum Allowable  $SR_A$  and  $SR_V$  Value

Structure Behavior Type	$SR_A$	$SR_V$
Type A	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),Table 8.2,p.8-17

**Performance Point**

Performance point adalah titik dimana capacity curve berpotongan dengan response spectrum curve seperti yang dipergunakan dalam capacity spectrum method (ATC-40,1996). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 3.9. Pada performance point dapat diperoleh informasi mengenai 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.



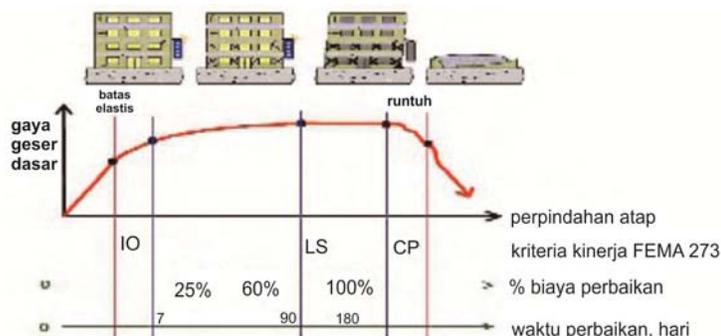
**Gambar 4.** Penentuan Performance Point

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),Figure 8-28,p.8-12

**Kriteria Struktur Tahan Gempa**

Menurut ATC-40, kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut :

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



Gambar 5. Ilustrasi Keruntuhan Bangunan  
 Sumber : FEMA 273

Menurut ATC-40, batasan rasio drift adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Batasan rasio drift atap menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	OI	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	0.33
Maksimum Total Inelastik Drift	0.005	0.005 s.d 0.015	No limit	No limit

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

Tabel 4. Batasan Tipe Bangunan pada Capacity Spectrum Method

Shaking Duration	Essentially new building	Average existing building	Poor existing building
Short	A	B	C
Long	B	C	C

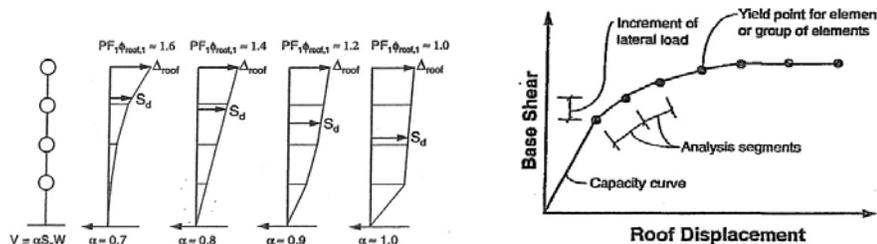
Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996),Table 8-4,p.8-19

**Sendi Plastis**

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (hinge) pada balok 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.

**Kurva Kapasitas**

Hasil analisis statis pushover adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (Base Shear) dan simpangan atap (Roof Displacement) seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva kapasitas struktur.



Gambar 6. Ilustrasi Pushover dan Capacity Curve

Sumber : Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC,1996)

## **MODEL STRUKTUR DAN METODE PENELITIAN**

### ***Data Struktur Gedung***

Pada penelitian ini dilakukan pada gedung kedokteran Universitas Muhammadiyah Surakarta yang berada di Surakarta. Struktur gedung beton bertulang dengan ketinggian 6 lantai. Fungsi utama bangunan sebagai gedung perkuliahan. Lokasi gedung di daerah Surakarta dengan wilayah gempa 3 (SNI 03-1726-2002) yang berdiri pada kondisi tanah sedang.

### ***Pemodelan Struktur 3D***

Pembuatan model struktur bangunan dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari shop drawing gedung Fakultas Kedokteran UMS.

1. Sistem Koordinasi global dan lokal elemen yang dipakai pada penelitian ini dinyatakan dengan sumbu lokal 1, sumbu lokal 2, dan sumbu lokal 3.

2. Elemen-elemen portal dan pelat lantai

Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan semua jenis dan ukuran penampang elemen portal yang digunakan. Setelah tahapan ini selesai, masing-masing elemen portal harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran penampang yang dibuat. Tahapan kedua adalah pembuatan pelat yang merupakan satu kesatuan struktur bangunan.

3. Diaphragm constraint

Tahapan ini dilakukan secara manual dalam SAP2000 v.15. Diaphragm Constraint ini menyebabkan semua joint pada satu lantai diberi batasan constraint bergerak secara bersamaan sebagai diafragma planar yang bersifat kaku (rigid) terhadap semua deformasi yang mungkin terjadi. Asumsi Diaphragm constraint sangat tepat untuk fenomena terbentuknya rigid floor dimana lantai struktur bergerak bersamaan ketika suatu struktur mengalami gempa.

### ***Perhitungan Pembebanan***

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam Program SAP2000 v.15 dimasukkan dalam *load case DEAD*, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program SAP2000 v.15 maka dimasukkan ke dalam *load case Super Dead*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program SAP2000 v.15 yang untuk dead adalah 1, sedangkan *Super Dead* adalah 0, dimana beban untuk dead telah dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 v.15, sedangkan untuk beban *Super Dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang tersedia.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP2000 v.15 dinotasikan dalam live. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP2000 v.15 yang untuk *LIVE* adalah 0, artinya beban hidup perlu dihitung secara manual sesuai dengan data yang tersedia.

### ***Analisis Respon Spektrum***

Menganalisis model struktur dengan Respon Spektrum untuk mendapat kurva respon spectrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program SAP2000 v.15. Data yang dibutuhkan dalam analisa respon spektrum adalah nilai  $C_a$  dan  $C_v$ . Dimana nilai  $C_a$  (*Peak Ground Acceleration*) didapat dari percepatan muka tanah pada suatu wilayah.  $A_m = 2.4 A_o$   
Untuk waktu getar alami sudut  $T_c$  (tanah sedang : 0,6) Faktor respon gempa  $C$  ditentukan dengan  $T < T_c$ , maka  $C = A_m$

### ***Analisis Pembebanan Nonlinier Pushover***

Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dalam analisis ini beban gravitasi yang digunakan adalah beban mati dengan koefisien 1 dan beban hidup dengan koefisien 1 (dianggap analisis tanpa dipengaruhi koefisien apapun). Setelah kondisi pertama selesai dijalankan, pembebanan bangunan dilanjutkan dengan kondisi kedua yakni akibat beban lateral. Pola beban lateral yang mewakili gaya inersia akibat gempa pada tiap lantai, yang diperoleh dari pembebanan dengan pola beban

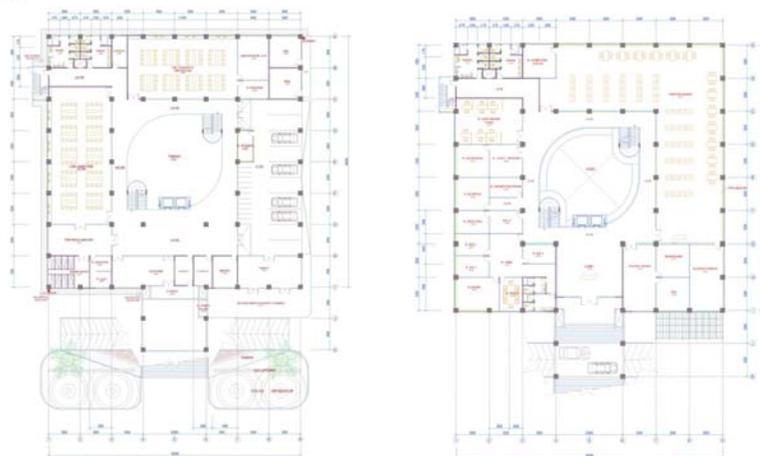
mengikuti sumbu mode pertama struktur. Arah pembebanan lateral dilakukan searah dengan sumbu utama bangunan.

**Pembahasan Hasil Analisis Pushover Dari Program SAP2000 v.15**

Dari performance point didapatkan nilai displacement efektif, gaya geser dasar, waktu getar alami dan damping efektif. Dari nilai displacement akan diketahui kriteria kinerja seismik struktur berdasarkan ATC-40. Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat dibuat kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Penulis memakai prosedur A karena prosedur A lebih jelas, transparan dan paling langsung ke metodologi. Dan menurut ATC-40 adalah metode yang paling mudah dipahami serta metode terbaik bagi peneliti pemula.

**Analisis Struktur**



**Gambar 7.** Contoh Denah Lantai Dasar dan Lantai 1

**Pemodelan Gedung Pada SAP2000 v.15**

Secara prinsip pemodelan yang disajikan program SAP2000 v.15 bukanlah hasil mutlak seperti kondisi riil dilapangan melainkan masih berupa pendekatan yang mana engineering adjusment sangat dibutuhkan untuk menghasilkan model yang menyerupai bentuk riil dilapangan agar model yang digunakan dapat dijadikan tolak ukur dalam fungsinya.

**Pembebanan Elemen**

Jenis pembebanan yang digunakan pada program SAP2000 v.15 sebagai berikut :

- Dead = Beban dari berat sendiri elemen, seperti balok, pelat dan kolom.
- Live = Beban hidup tereduksi
- Q lateral = Beban lateral yang digunakan untuk analisis pushover berupa Qx dan Qy

**Hasil Kurva Analisis Pushover**

Kurva Kapasitas Kurva Kapasitas Spektrum

Dari proses itrasi, didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V)

**Tabel 5.** Nilai Peformance Point

V (ton), D (m)	S <sub>a</sub> (g), S <sub>d</sub> (m)	T <sub>eff</sub> (second), β <sub>eff</sub>
706,779 (ton) ; 0,093 (m)	0,197 (g) ; 0,065 (m)	1,101 (second) ; 0,159

*Displacement Limit* Menurut SNI 02-1726-2002 ditentukan  $2\% H = 0,02 \times 22,5 = 0,45 \text{ m} > D = 0,10$  maka kinerja displacement gedung baik.

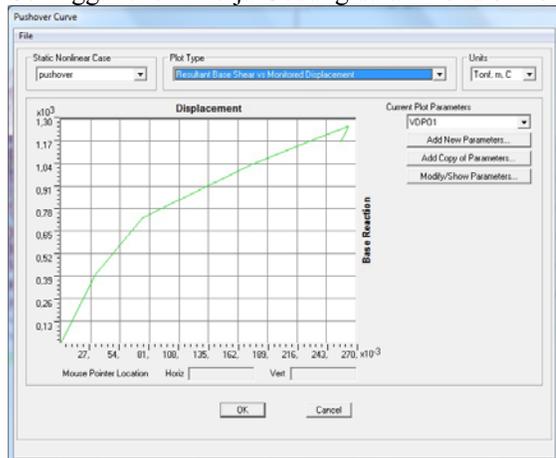
Kinerja Gedung Menurut ATC-40 Tabel 11-12 :

- Maksimal  $Drift = \frac{D_t}{H} = \frac{0,093}{22,5} = 0,0041$

Sehingga level kinerja gedung adalah **Immediate Occupancy**

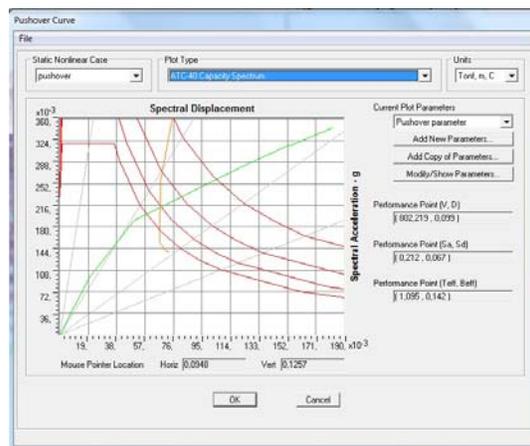
- Maksimal In-elastic  $Drift = \frac{D_t - D_1}{H_{total}} = \frac{0,093 - 0,080}{22,8} = 0,003$

Sehingga level kinerja Gedung dalam kondisi Nonlinier adalah **Immediate Occupancy**



Kurva Kapasitas Antara Titik Acuan Pada Atap (D) dan Gaya Geser Dasar (V)

Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15



Kurva Kapasitas Spektrum Dengan Parameter ATC-40

Sumber : Model simulasi struktur 3D pada SAP2000 v.15  
Parameter Pushover diambil dengan menentukan nilai  $C_a = 0,23$  dan  $C_v = 0,33$  yang didapat dari respon spektra SNI 02-1726-2002. Dan tipe struktur A dari tabel 8-3 ATC-40.

## KESIMPULAN

*Performance Point* gedung diperoleh gaya geser dasar 706,779 ton, displacement 0,093 m dan kinerja struktur tidak melewati LS (Life Safety)

Dari analisis pushover yang ditinjau dari arah Y maka perubahan spesifik sendi plastis yang terjadi mengalami penurunan kinerja yang bersangsur-angsur membesar pada setiap step. Mulai dari tahap elastik sampai in-elastik yang selanjutnya mengalami keruntuhan struktur. Gedung Termasuk dalam kondisi Immediate Occupancy yang artinya ketika terjadi gaya gempa maksimum maka struktur gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan nonstruktural, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai..

## DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council (ATC-40), (1996), “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*”, Volume 1, Redwood City, California.
- Applied Technology Council (ATC-40), (1996), “*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*”, Volume II, Redwood City, California.
- Badan Standarisasi Nasional, (2002), “*Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*”, SNI 03-1726-2002, Jakarta.
- Budi P, Anindityo, (2011), Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Prosedur A Menggunakan Programs Etabs V.9.50.
- Dwiyanto, (2010), Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode Kapasitas Spektrum, Teknik Sipil, FT UNS, Surakarta.