

repository.ub.ac.id

ANALISIS *PUSHOVER* UNTUK *PERFORMANCE BASED DESIGN*  
(STUDI KASUS GEDUNG B PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU  
KOMPUTER UNIVERSITAS BRAWIJAYA)

Anisa Febriana, Wisnumurti, Ari Wibowo  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 567886  
Email: anisafebriana5@gmail.com

**ABSTRAK**

Gempa merupakan salah satu bencana alam yang waktu dan tempatnya tidak dapat diprediksi serta banyak memakan korban jiwa. Diperlukan perencanaan bangunan tahan gempa yang baik agar korban jiwa dapat dihindari. Salah satu perencanaan terbaru untuk bangunan tahan gempa adalah Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Tujuan dari perencanaan bangunan berbasis kinerja adalah agar perencana dapat menetapkan kondisi apa yang terjadi pada bangunan saat gempa maksimum terjadi. Dengan menggunakan program komputer SAP 2000 maka akan didapatkan kinerja bangunan yang ditunjukkan dengan titik kinerja. Titik kinerja didapatkan dari perpotongan kurva *demand* dan kapasitas. Kurva *demand* menggunakan respon spektrum, kurva kapasitas di dapatkan dari kurva analisis *pushover*. Hasil studi kasus pada bangunan gedung berdasarkan ATC 40 bahwa gedung berada dalam tingkat kinerja Segera Huni/*Immadiate Occupancy*. Hal ini ditunjukkan dari titik kinerjanya yaitu  $S_d$  dan  $S_a$  (0,0209 dan 0,125).

**Kata Kunci:** Analisis *pushover*, *Performance Based Design*, Titik kinerja

**ABSTRACT**

The seismic is one of the natural disasters that time and place can not be predicted and many casualties. Necessary planning a good seismic resistant buildings that casualties can be avoided. One of the latest design for seismic resistant building is Performance Based Design. The purpose of performance-based design that the planner can specify the condition of the building when the seismic maximum. By using a computer program SAP 2000 then get the performance of a building which is in by performance point. The performnace point get of intersaction demanf and capacity. Demand curve obtained the response spectrum, capacity curve obtained pushover analysis curve. The results of case studies in buildings based ATC 40 that the building in performance level Immadiate Occupancy. It can be show from the performance point  $S_d$  and  $S_a$  (0.0209 and 0.125).

**Keyword:** Pushover Analysis, Performance Based Design, Performance Point

**PENDAHULUAN**

Bertambahnya jumlah penduduk Indonesia serta keterbatasan lahan untuk pemukiman di kota – kota besar merupakan penyebab utama dibangunnya gedung – gedung tinggi. Namun, karena Indonesia merupakan salah negara dengan tingakat intensitas gempa yang cukup tinggi maka diperlukan

perencanaan yang baik pada bangunan – bangunan tinggi.

Salah satu konsep terbaru untuk perencanaan bangunan tahan gempa adalah Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Konsep *Performance Based Design* digunakan pada bangunan baru atau *upgrade* dengan pemahaman dapat mengurangi kerugian

harta benda, keselamatan penghuni, dan kesiapan pakai. Salah satu pendekatan analisis yang dapat digunakan adalah analisis dinamik non-linear atau analisis *pushover* (ATC 40, 1997). Analisis ini dilakukan dengan memberikan beban statik secara terus menerus ditiap lantainya hingga struktur mengalami keruntuhan pada batas tertentu.

Dengan mengetahui perilaku struktur setelah mencapai batas keruntuhan, dapat diketahui tingkat kerusakannya saat gempa terjadi pada kala ulang tertentu. Untuk mendapatkan tingkat kerusakan diperlukan analisis yang dengan program komputer. Tingkat kerusakan dapat dilihat dari tingkat kinerja struktur berdasarkan perpindahan atapnya saat beban lateral diberikan.

Salah satu bangunan baru yang digunakan untuk analisis ini adalah gedung baru Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. Analisis struktur dengan 3 dimensi berupa beban gempa dinamik, dengan program SAP 2000. Diharapkan dapat dilihat perilaku struktur serta tingkat kinerjanya.

## TUJUAN

Tujuan analisis ini dimaksudkan untuk menggambarkan perilaku permodelan 3 dimensi berupa beban statik non-linear dengan program komputer SAP 2000. Selain itu mengetahui tingkat pelayanan dari Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.

## KAJIAN PUSTAKA

### Perencanaan Berbasis Kinerja

Peraturan perencanaan bangunan (*building codes*) digunakan sebagai acuan prosedur desain bangunan tahan gempa. Dengan mengacu pada *building codes* maka keselamatan penghuni dapat terjamin, kerusakan dapat dikurangi pada saat gempa besar. Namun, dengan prosedur tersebut tidak dapat menunjukkan kinerja bangunan secara langsung.

Kinerja terkait dengan risiko yang akan dihadapi pemilik bangunan.

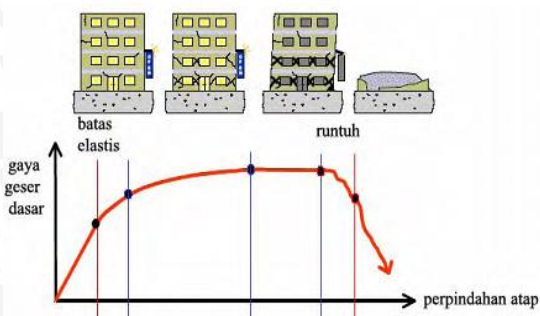
Konsep PBD digunakan pada bangunan baru maupun bangunan perkuatan. Untuk mengetahui kinerja bangunan maka dilakukan simulasi model bangunan dengan berbagai kejadian gempa. Dengan simulasi maka akan terlihat tingkat kerusakan, ketahanan, keselamatan hidup, kesiapan pakai, serta kerugian harta benda. Selanjutnya dapat menghitung berapa biaya yang harus dikeluarkan sesuai dengan risiko kerusakan.

Tujuan dari PBD adalah mencitakan bangunan tahan gempa yang daya gunanya dapat diperhitungkan oleh pihak perencana. Sasaran kinerja adalah bahaya gempa (*seismic hazard*) dan tingkat kinerja (*performance level*). Berdasarkan NEHPR (BSSC,1995) tingkat kinerja struktur dibagi dalam empat tingkatan:

- *Operational*, dimana tidak ada kerusakan pada komponen struktur maupun non-struktur serta bangunan masih berfungsi secara baik.
- *Immediate Occupancy*, tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, kekuatan dan kekakuannya sama saat belum terjadi gempa. komponen non – struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.
- *Life Safety*, terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat digunakan lagi jika dilakukan perbaikan.
- *Collapse Prevention*, kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non struktur. kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan karena



runtuhnya material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.



**Gambar 1.** Tingkat Kinerja Gempa berbasis PBD.

Dengan kurva hubungan gaya – perpindahan maka terlihat secara kualitatif level kinerjanya secara menyeluruh. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis pushover yang biasa disebut kurva pushover. Pada kurva pushover digambarkan secara kualitatif kerusakan tiap tingkatan kinerja, agar orang awam tahu seberapa besar kerusakan yang terjadi.

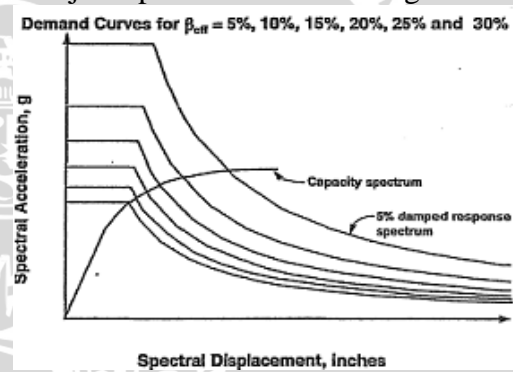
### Analisis Pushover.

Dengan menggunakan analisis statik non-linear maka dapat mengetahui keruntuhan bangunan yang disebabkan karena gempa, atau biasa yang dikenal dengan analisis beban dorong statik. Dengan pembebanan lateral pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap sampai mencapai titik keruntuhan tertentu.

Prosedur analisis *pushover*, struktur didorong sampai leleh dan berperilaku non-linear atau plastis. Kurva kapasitas akan memperlihatkan kondisi elastis sampai kondisi plastis. Tujuan analisis pushover adalah untuk memperkirakan gaya deformasi maksimum yang terjadi akibat pembebanan lateral hingga diperoleh titik kritisnya. Selanjutnya dilihat bagian – bagian yang terjadi kerusakan dan memerlukan perhatian khusus.

Berdasarkan ATC 40, prosedur analisis *pushover* terdapat tiga prosedur. Namun yang digunakan dalam kajian ini adalah Prosedur B. Tahapan analisis *pushover* dengan prosedur B adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan redaman 5% pada respon spektrum sesuai dengan prosedur yang tersedia pada ATC 40 bab 4.
2. Gambarkan respon spektrum dengan redaman 5% dan diturunkan pada grafik yang sama. Hal ini akan lebih mudah jika spektrum diplot sesuai dengan nilai – nilai redaman efektif ( $\beta_{eff}$ ) dimulai dari 5% dengan nilai maksimum yang diizinkan untuk jenis perilaku struktur bangunan.



**Gambar 2.** Spektrum kapasitas Prosedur B

3. Ubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan persamaan berikut. Selanjutnya plot spektrum kapasitas pada grafik yang sama dengan *demand*

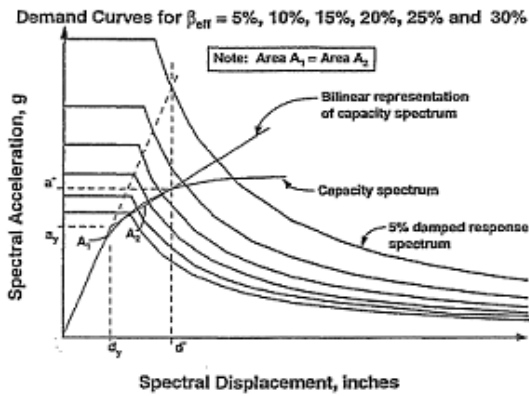
$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}^2) / g}$$

$$CF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{1i}^2) / g \right]}$$

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

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_i \phi_{roof,i}}$$

4. Mengembangkan representasi bilinear dari spektrum kapasitas seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum kapasitas Prosedur B setelah step 4.

5. Menghitung redaman efektif untuk berbagai perpindahan titik  $a^*$ ,  $d^*$ . Kemiringan segemen pasca leleh digambarkan dengan kurva bilinear:

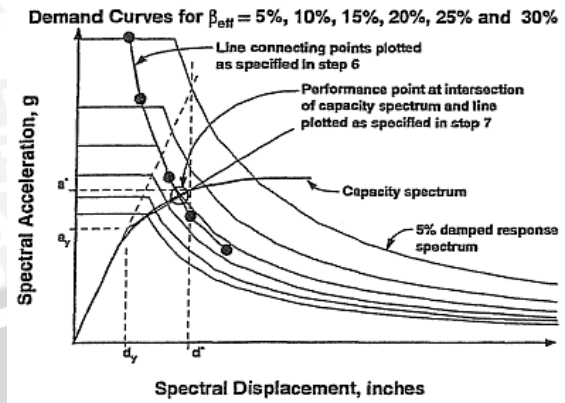
Kemiringan pasca leleh =  $\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y}$

Kemiringan pasca leleh =  $\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}$

$$a_{pi}^i = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y$$

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 5 = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}^i)}{a_{pi}^i d_{pi}} + 5$$

$$\beta_{eff} = \frac{63.7\kappa(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}^i)}{a_{pi}^i d_{pi}} + 5$$



Gambar 4. Spektrum kapasitas Prosedur B setelah step 7.

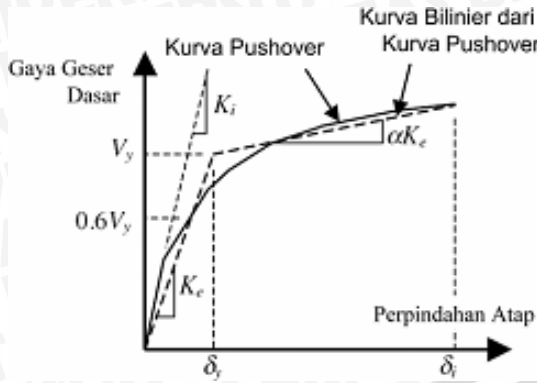
6. Untuk setiap nilai dpi dipertimbangkan dalam langkah 5, merencanakan dpi yang dihasilkan; titik  $\beta_{eff}$  pada grafik yang sama seperti hubungan spektrum permintaan dan spektrum kapasitas.
7. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4 hubungan titik – titik yang dibuat pada langkah 9, untuk membentuk garis perpotongan. Sejajar dengan spektrum kapasitas untuk mendapatkan titik kinerja.

**Waktu Getar Alami.**

Untuk mengetahui waktu getar alami bangunan biasanya digunakan analisis nilai eigen. Waktu getar alami sangat penting untuk mendapatkan besarnya gaya gempa yang diterima bangunan. Analisis nilai eigen dilakukan dengan data – data struktur saat masih kondisi elastis linear. Namun, saat gempa maksimum terjadi kondisi struktur sudah dalam keadaan plastis, sehingga analisis nilai eigen tidak dapat digunakan. Waktu getar efektif adalah waktu getar saat struktur dalam kondisi in – elastis diperoleh dari kuva pushover





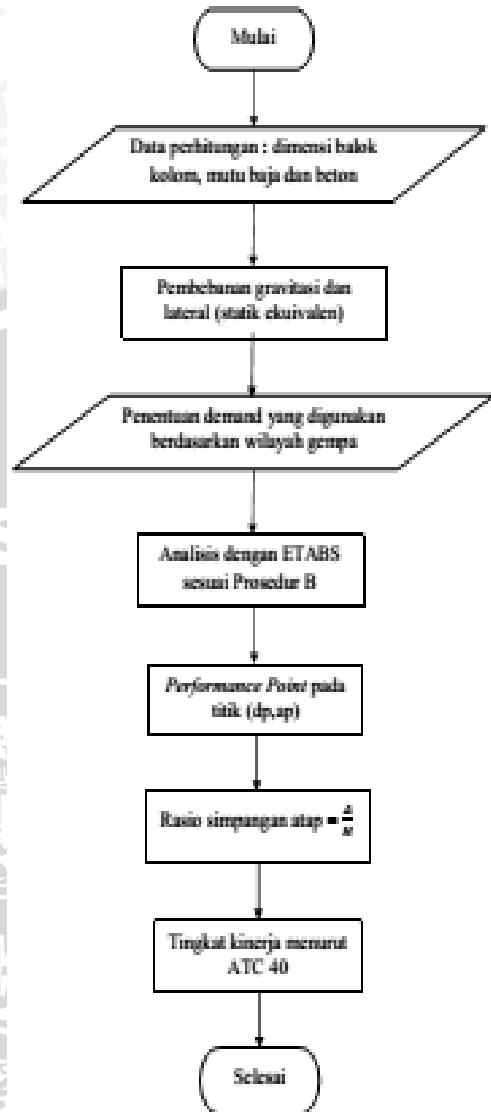


**Gambar 4.** Waktu getar alami efektif dari kurva *pushover*.

Selanjutnya kurva *pushover* diubah menjadi kurva bilinear untuk mengetahui kekakuan lateral efektif bangunan,  $K_e$ , dan kuat leleh bangunan  $V_y$ . Kekakuan efektif didapat dari secant gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Kuat leleh diperoleh dari perpotongan kekakuan lateral kondisi elastis dan pada saat kondisi plastis dengan melakukan iterasi. Selanjutnya hitung waktu getar alami efektif sebagai berikut:

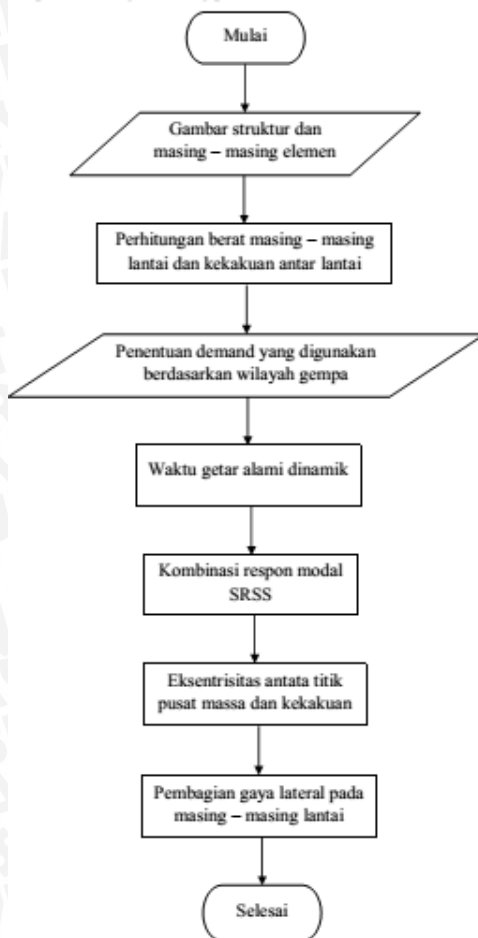
$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

**METODE PENELITIAN**



**Gambar 5.** Flowchart analisis struktur.



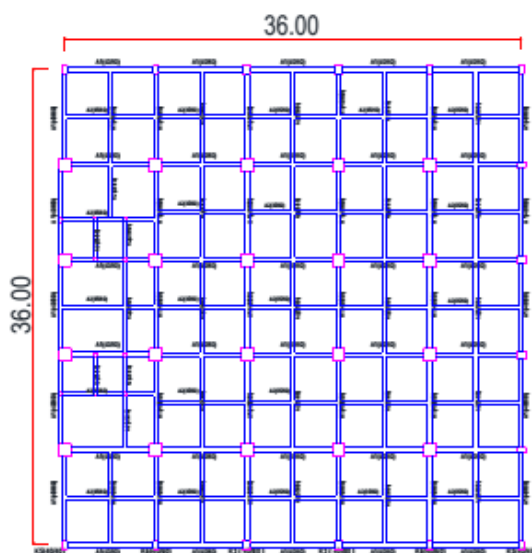


Gambar 6. Flowchart gaya lateral tiap portal.

1. Mutu Beton :
  - $f'c = 24,9 \text{ Mpa}$
2. Mutu Tulangan :
  - $\phi 16 = 2400 \text{ kg/cm}^2$
  - $D22 = 3200 \text{ kg/cm}^2$
  - $E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
3. Dimensi Kolom, Balok dan Pelat :
  - K1 = 100 cm x 100 cm
  - K2 = 80 cm x 80 cm
  - K3 = 60 cm x 60 cm
  - K4 = 45 cm x 45 cm
  - K5 = 30 cm x 30 cm
  - K6 = 40 cm x 40 cm
  - B1 = 35 cm x 75 cm
  - B2 = 30 cm x 50 cm
  - B3 = 60 cm x 60 cm
  - B4 = 20 cm x 60 cm
  - B5 = 30 cm x 60 cm
  - B6 = 25 cm x 35 cm
  - A1 = 40 cm x 80 cm
  - A2 = 35 cm x 65 cm
  - Lantai = 12 cm

Berat Total Massa bangunan  
Tabel 1. Rekapitulasi Massa Bangunan  
Tiap Lantai

PEMBAHASAN



Gambar 7. Denah bangunan.

Tingkat	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)	Rekap Beban Mati dan Beban Hidup (kg)
Atap	66052,52	0	66052,52
Ring Balok	87033,6	0	87033,6
Lantai 13	354602,4	76805,625	431408,025
Lantai 12	450712,5	182340	633052,5
Lantai 11	450712,5	182340	633052,5
Lantai 10	450712,5	182340	633052,5
Lantai 9	450712,5	182340	633052,5
Lantai 8	450712,5	182340	633052,5
Lantai 7	450712,5	182340	633052,5
Lantai 6	450712,5	182340	633052,5
Lantai 5	450712,5	182340	633052,5
Lantai 4	674871	302880	977751
Lantai 3	731532	302880	1034412
Lantai 2	849636	264000	1113636
Lantai 1	631794	311520	943314
Basement	339177,6	0	339177,6
Berat Total Bangunan			10057204,75

## Berat Total Massa bangunan

**Tabel 2.** Perhitungan Selisih Periode Tiap Mode

Mode	Period	$\Delta T$ (%)
1	<b>1,98205</b>	2,27613
2	1,93694	11,0256
3	1,72338	<b>57,3911</b>
4	0,73431	2,62491
5	0,71504	7,19194
6	0,66361	<b>37,1084</b>
7	0,41736	3,67145
8	0,40203	5,31349
9	0,38067	<b>29,7236</b>
10	0,26752	1,54193
11	0,2634	6,6208
12	0,24596	----

Karena selisih waktu getar alami gedung berjauhan maka digunakan analisis menggunakan metode Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Square*). Berdasarkan output SAP 2000 maka waktu getar alami gedung adalah 1,982 detik.

## Distribusi gaya horisontal

**Tabel 3.** Gaya geser  $F_i$  tiap portal

Tingkat	$F_i$	
	x	y
Ring Balok	11968,198	11968,198
Lantai 13	52299,602	52299,602
Lantai 12	67284,937	67284,937
Lantai 11	58343,545	58343,545
Lantai 10	49933,996	49933,996
Lantai 9	42071,096	42071,096
Lantai 8	34771,626	34771,626
Lantai 7	28054,868	28054,868
Lantai 6	21943,347	21943,347
Lantai 5	16463,950	16463,950
Lantai 4	17992,970	17992,970
Lantai 3	12324,876	12324,876
Lantai 2	6824,301	6824,301
Lantai 1	899,762	899,762

## Desain Respon Spektrum

### Tanah Keras (SC)

PGA (g)	0,397
S <sub>s</sub> (g)	0,778
S <sub>1</sub> (g)	0,328
C <sub>RS</sub>	1,003
C <sub>R1</sub>	0,921
F <sub>PGA</sub>	1,003
F <sub>A</sub>	1,089
F <sub>V</sub>	1,472
PSA (g)	0,398
S <sub>MS</sub> (g)	0,847
S <sub>M1</sub> (g)	0,483
S <sub>DS</sub> (g)	0,564
S <sub>D1</sub> (g)	0,322
T <sub>0</sub> (detik)	0,114
T <sub>s</sub> (detik)	0,571



Sumber:

<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>

**Gambar 8.** Grafik Respon Spektrum

## Momen Nominal Balok

**Tabel 4.** Rekapitulasi momen nominal balok

Jenis balok (mm)	Mn (+) (kg.m)	Mn (-) (kg.m)
A1 (400 x 800)	104395,4604	35733,66898
A2 (350 x 650)	54394,56383	21636,92576
B1 (350 x 750)	80739,90911	26558,56254
B2 (300 X 500)	32265,05645	20959,59155
B3 (600 x 1000)	196278,0373	95799,7606
B4 (200 x 600)	23099,87732	25208,56056
B5 (300 x 600)	37492,89696	15163,20637
B6 (250 x 350)	11084,18132	6075,377023
B7 (250 x 600)	38489,21351	36751,97565



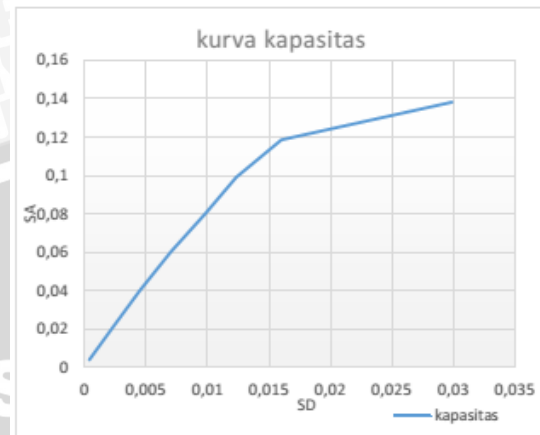
## Analisis Modal

**Tabel 5.** Koordinat Pusat Massa dan Pusat Rotasi

Story	Pusat Massa		Pusat Rotasi	
	X	Y	X	Y
LANTAI 1	18,012	18,307	17,9	19,82
LANTAI 2	18,038	18,409	17,88	19,762
LANTAI 3	18,052	18,125	17,907	19,668
LANTAI 4	18,062	17,97	17,922	19,477
LANTAI 5	18,092	19,643	17,94	19,594
LANTAI 6	18,092	19,643	17,955	19,821
LANTAI 7	18,092	19,643	17,965	19,986
LANTAI 8	18,092	19,643	17,971	20,101
LANTAI 9	18,092	19,643	17,975	20,187
LANTAI 10	18,092	19,643	17,979	20,255
LANTAI 11	18,092	19,643	17,981	20,311
LANTAI 12	18,093	19,575	17,983	20,361
LANTAI 13	17,986	19,962	17,983	20,417
LUNAS RING BALOK	18	17,733	17,98	20,262

diperoleh simpangan antar lantai pada gedung tidak ada yang melebihi 30 mm.

## Kurva Kapasitas



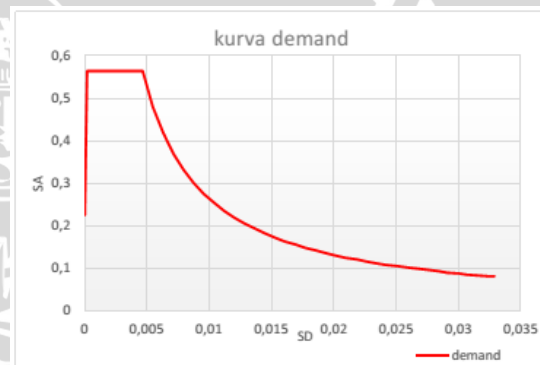
**Gambar 9.** Kurva Spektrum Kapasitas

## Kinerja Batas Layanan dan kinerja batas ultimate

**Tabel 5.** Kinerja batas layanan dan kinerja batas ultimate arah x

Lantai	Tinggi tingkat (mm)	$\Delta S$ (mm)	$\Delta S \times \xi$ (mm)
base	3500	0,12	0,42
Lantai 1	7000	2,12	7,42
Lantai 2	5000	7,48	26,18
Lantai 3	4500	4,24	14,84
Lantai 4	4500	2,87	10,045
Lantai 5	4500	3,86	13,51
Lantai 6	4500	3,74	13,09
Lantai 7	4500	3,87	13,545
Lantai 8	4500	3,74	13,09
Lantai 9	4500	3,36	11,76
Lantai 10	4500	3,12	10,92
Lantai 11	4500	2,24	7,84
Lantai 12	4500	2	7
Lantai 13	4500	1,49	5,215
RING BALOK	4650	1,38	4,83

## Kurva demand



**Gambar 10.** Kurva Respon Spektrum Format ADRS.

**Tabel 6.** Kinerja batas layanan dan kinerja batas ultimate arah y

Lantai	Tinggi tingkat (mm)	$\Delta S$ (mm)	$\Delta S \times \xi$ (mm)
base	3500	0,11	0,385
Lantai 1	7000	2,17	7,595
Lantai 2	5000	6,93	24,255
Lantai 3	4500	4,01	14,035
Lantai 4	4500	3,26	11,41
Lantai 5	4500	3,57	12,495
Lantai 6	4500	3,36	11,76
Lantai 7	4500	3,37	11,795
Lantai 8	4500	2,92	10,22
Lantai 9	4500	2,82	9,87
Lantai 10	4500	2,39	8,365
Lantai 11	4500	1,95	6,825
Lantai 12	4500	1,41	4,935
Lantai 13	4500	1,19	4,165
RING BALOK	4650	0,43	1,505

## Analisis Titik Kinerja



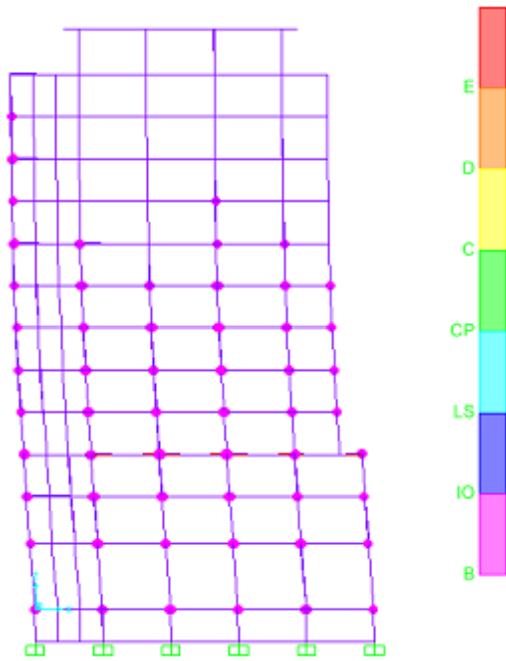
**Gambar 11.** Letak titik kinerja (performance point)

Berdasarkan SNI 2012 disebutkan bahwa simpangan antar lantai tidak boleh melebihi 30 mm. Dari hasil yang

Berdasarkan ATC 40 (figure 6.3), letak plot axes Sd dan Sa (0,0209 ; 0,125) dengan begitu gedung berada dalam



kinerja *Immadiate Occupancy* atau segera huni.



**Gambar 12.** Letak sendi plastis pada pembebanan step 3

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Deformasi lateral sebesar 45,63 mm untuk arah x dan 39,89 mm untuk arah y akibat beban gempa dinamik berupa respon spektrum,
2. Waktu getar alami gedung 1,982 detik dengan metode SRSS
3. Sendi plastis terletak pada ujung – ujung elemen kolom dan balok.
4. Berdasarkan ATC 40 (*Figure 6.3*) tingkat pelayanan Gedung pada (0,0209 ; 0,125).

Sd (m)	Sa/g (m/s <sup>2</sup> )	Xroof/H (m)	Performance Level
0,0209	0,125	0,0007009	Immadiate Occupancy

**SARAN**

Untuk memudahkan melakukan perhitungan kinerja bangunan diperlukan hal – hal mendasar seperti:

1. Data – data struktur sesuai dengan keadaan sebenarnya.
2. Perlu pengetahuan tentang analisis modal

3. Dibutuhkan pemrograman komputer dalam menganalisis secara komposit untuk beton bertulang.
4. Pemahaman parameter yang terdapat pada SAP 2000 non – linear, sehingga didapatkan output yang sesuai.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anom, L.H.S, Wibowo, dan Sunarmasto, 2013, Analisis Kinerja Struktur dengan metode *Performance Based Design* terhadap gedung ketidakberaturan vertikal, Jurnal Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, September 2003, 227.

ATC – 40, 1997, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*, Volume 1, California.

Computer and Structure, 2001, ETABS Manual : *Integrated Building Design Software*, California.

Fajfar, P., 2000, A Nonlinear Analysis Methode for Performance Based Seismic Design, *Earthquake Spectra*, Vol. 16, No. 3, Agustus 2000, 573 – 592.

FEMA 356, 2000, *Prestandart and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, American Society of Civil Engineers.

Ghobarah, A., 2001, Performance – based design in earthquake engineering: state of development, *Engineering Structure*, 23, 878 – 884.

Hindalgo, P.A, Jordan R.M, dan Martinez, M.P, 2000, An analytical model to predict inelastic seismic behavior of shear – wall, reinforced concrete structures, *Engineering Structure*, 24, 85 – 98.

Kadid, A., Boumrkik, A., 2008, Pushover Analysis of Reinforced Concrete Frame Structure, *Asian Journal of*



Civil Engineering, Vol. 9, No. 1, 75 – 83.

Krawinkler, H., 1996, Pushover Analysis : Why, How, When, and Where not to use it, *Proc. 65th Annual Convention SEAOC*, 1 – 6 October 1996: 17 – 36, Maui, Hawaii, USA.

Lumantarna, B., Ginsar, I.M., 2007, Seismic Performance Evaluation of Building with Pushover Analysis, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Petra*, Surabaya.

Paz, M., 1985, *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

Pranata, Y.A., Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC – 40 dan FEMA 440), *Jurnal Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha*, Vol. 3, No. 1, Bandung.

Priestly, M.J.N., 2000, Performance Based Seismic Design, 12WCEE 2000.

Raul, D., dan Vtelmo, V., 2002, Performance – Based Seismic Engineering: The need for a reliable conceptual comprehensive approach, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 627 – 652.

SNI 1726 – 2012, Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non – Gedung.

UBC, 1997, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, Ca.