

# **EVALUASI STRUKTUR DENGAN *PUSHOVER ANALYSIS***

## **PADA GEDUNG KALIBATA RESIDENCES JAKARTA**

*(The Evaluation Of The Structure by Using Pushover Analysis of Kalibata Residences  
Building Jakarta)*

Cipto Utomo, Rokhmad Irfan Susanto

Dr. Ir. Sri Tujono,

Hardi Wibowo, ST, M Eng

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, 50239

Telp. : (024) 7474770, Fax : (024) 7460060

### **ABSTRAK**

Analisis pushover merupakan sebuah sarana untuk memberikan solusi 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 (incremental) hingga mencapai target displacement tertentu atau mencapai keruntuhan.

Penulisan ini dilakukan untuk mengetahui perilaku seismik struktur dari besarnya daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual. Pola pembebanan lateral yang diberikan pada analisis pushover adalah beban lateral multi-modal, masing-masing gaya dari analisis modal dilakukan respons kombinasi dengan metode SRSS (Square Root of the Sum of Square). Dari hasil analisis pushover didapatkan daktilitas ( $\mu\Delta$ ) aktual arah x (positif) = 3,85, arah x (negatif) = 3,96 dan daktilitas ( $\mu\Delta$ ) aktual arah y (positif) = 2,97, arah y (negatif) = 3,15. Faktor reduksi gempa (R) aktual arah x (positif) = 6,2, arah x (negatif) = 6,3 dan faktor reduksi gempa (R) aktual arah y (positif) = 4,7, arah y (negatif) = 5,0. Hal ini menunjukkan bahwa daktilitas ( $\mu\Delta$ ) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ( $\mu_m = 4,0$  dan  $R_m = 6,5$  untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang).

Kata kunci : analisis pushover, kurva kapasitas

## **ABSTRACT**

Pushover Analysis is a means to provide solutions based on Performance Based Seismic Design, which in essence is to find the capacity of the structure. Pushover analysis procedure to provide a static load in the lateral directions is increased gradually (incremental) until it reaches the target displacement or achieving certain collapse.

In the analysis is performed to determine the seismic behavior of structure and the actual amount of ductility and reduction factor of the actual earthquake. Lateral loading pattern given in the pushover analysis is the burden of multi-modal lateral, each style of response to the combination of modal analysis performed by the method of SRSS (Square Root of the Sum of Square). The result obtained from pushover The results obtained from pushover analysis ductility ( $\mu\Delta$ ) the actual direction of x (positive) = 3.85, x direction (negative) = 3.96 and ductility ( $\mu\Delta$ ) actual y direction (positive) = 2.97, y direction (negative) = 3.15. Seismic reduction factor (R) the actual direction of x (positive) = 6.2, x direction (negative) = 6.3 earthquake and the reduction factor (R) actual y direction (positive) = 4.7, y direction (negative) = 5.0. This shows that the ductility ( $\mu\Delta$ ) and the actual reduction factor of the earthquake (R) which occurs in accordance with the actual SNI 03-1726-2002 ( $\mu_m = 4.0$  and  $R_m = 6.5$  for the dual system consisting of a shear wall structure and SRPMM reinforced concrete).

Keywords : pushover analysis, capacity curve.

## **PENDAHULUAN**

### **Latar belakang**

Struktur beton bertulang tahan gempa pada umumnya direncanakan dengan mengaplikasikan konsep daktilitas, dengan konsep ini struktur tidak lagi perlu direncanakan agar tetap dalam batas elastis saat memikul beban gempa terbesar yang diramalkan mungkin terjadi. Suatu taraf pembebanan dengan faktor reduksi terhadap beban gempa maksimum dapat dipakai sebagai beban gempa rencana, sehingga struktur dapat didesain secara lebih ekonomis

Peraturan gempa SNI 03-1726-2002 hanya membatasi nilai faktor daktilitas maksimum ( $\mu_m$ ) dan faktor reduksi gempa maksimum ( $R_m$ ) yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur gedung. Dalam studi evaluasi ini akan mengkaji kapasitas aktual struktur gedung dengan metode pushover analysis, sehingga dapat membandingkan nilai  $\mu\Delta$  aktual dan R aktual dengan batasan nilai maksimum yang telah ditentukan di dalam peraturan gempa.

Metode analisis pushover (ATC-40, 1996) merupakan salah satu komponen performance based design yang menjadi sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Dasar dari metode ini sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara incremental sampai struktur tersebut mencapai target displacement tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari hasil analisis, dapat digambarkan hubungan antara base shear dan roof displacement, hubungan tersebut kemudian dipetakan sebagai kurva kapasitas struktur. Selain itu, analisis pushover juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Meskipun metode ini sangat sederhana, informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respons in-elastis bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis dan desain, tetapi cara ini relatif sederhana untuk mendapatkan respon non-linier suatu struktur.

### **Maksud dan Tujuan**

Maksud dan tujuan dari studi evaluasi struktur gedung dalam tugas akhir ini adalah :

1. Mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai  $\mu_d$  aktual dan  $R$  aktual.
2. Memperlihatkan kurva kapasitas (*capacity curve*).
3. Memperlihatkan skema keelehan (distribusi sendi plastis) yang terjadi.

### **Ruang Lingkup Penulisan**

Ruang lingkup penulisan Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Struktur dengan *Pushover Analysis* pada Kalibata Residences Jakarta” adalah :

1. Data struktur berupa dimensi struktur dan mutu bahan berdasarkan *shop drawing* dan RKS Kalibata Residences Jakarta.
2. Jenis beban yang digunakan dalam meninjau perilaku struktur adalah beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi yang dimaksud mencakup kombinasi beban mati dan beban hidup tereduksi, sedangkan beban lateral yang ditinjau dalam studi ini adalah beban gempa.

3. Pembebanan lateral yang digunakan diperoleh melalui analisis ragam respons spektrum gempa wilayah 3 pada Peta Gempa Indonesia sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002.
4. Peninjauan sendi plastis dianggap hanya terjadi pada ujung-ujung elemen struktur yaitu ujung balok, kaki kolom dan kaki dinding geser lantai dasar.
5. Perilaku struktur dievaluasi secara tiga dimensi (3D) berdasarkan analisis *pushover* dengan bantuan program komputer SAP2000 v.11.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Tinjauan Umum**

Bab ini membahas mengenai konsep *strength based design* dan *performance based design*. Dalam pembahasan konsep *performance based design*, diuraikan secara mendalam mengenai konsep analisis statik non-linier *pushover*.

### **Analisis Statik Non-Linier (Pushover Analysis)**

Analisis pushover adalah suatu cara analisis statik non-linier dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis.

Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

## **METODE EVALUASI**

### **Informasi Struktur**

Model struktur yang digunakan di dalam analisis ini adalah Kalibata Residences (Tower A) Jakarta. Struktur berada pada Wilayah Gempa 3 menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002) dengan kondisi tanah di bawah bangunan adalah tanah lunak.

### *Dimensi Elemen Struktur*

| Elemen Struktur                 | Keterangan                   |
|---------------------------------|------------------------------|
| Luas Bangunan                   | 12.34 x 42.56 m <sup>2</sup> |
| Tinggi Bangunan                 | 57.65 m                      |
| Tinggi Antar Tingkat            |                              |
| - Lantai <i>Typical</i> (18 Lt) | 2.70 m                       |
| - Lantai Dasar                  | 3.20 m                       |
| - Lantai <i>Mezzanine</i>       | 3.35 m                       |
| - <i>Basement</i> 1             | 5.00 m                       |
| - <i>Basement</i> 2             | 2.50 m                       |
| Balok Induk                     |                              |
| - Lantai 1 s/d Atap             | 30/40-20/40-30/25            |
| - Lantai Dasar                  | 30/40-20/40-30/25-40/60      |
| - Lantai <i>Mezzanine</i>       | 40/60                        |
| Kolom                           |                              |
| - Lantai 1 s/d Lantai 18        | 45/60                        |
| - <i>Basement</i> s/d Dasar     | 45/70                        |
| Shearwall                       | t : 0.20 m                   |
| Plat Lantai                     |                              |
| - Lantai Dasar s/d Atap         | t : 0.13 m                   |
| - Lantai <i>Mezzanine</i>       | t : 0.20 m                   |
| Mutu Beton ( $f'_c$ )           |                              |
| - Lantai Dasar s/d Atap         | K-350 (29.05 MPa)            |
| - <i>Basement</i> s/d Dasar     | K-400 (33.20 MPa)            |
| Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ )    |                              |
| - Tulangan Longitudinal         | 400 MPa                      |
| - Tulangan Sengkang             | 240 Mpa (balok)              |
|                                 | 400 Mpa (kolom)              |

Sumber: Kalibata Residences, 2009

## **EVALUASI STRUKTUR DAN PEMBAHASAN**

### **Analisis Struktur Analisis Ragam**

Analisis ragam diperlukan untuk mengetahui perilaku dinamis bangunan sekaligus perioda getar alami. Parameter yang mempengaruhi pada analisis ragam adalah massa dan kekakuan lateral bangunan.

a. **Beban Tetap dan Massa Bangunan**

Beban tetap terdiri dari beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*) yang tergantung dari fungsi lantai. Untuk perhitungan massa bangunan maka beban hidup direduksi menjadi 30%.

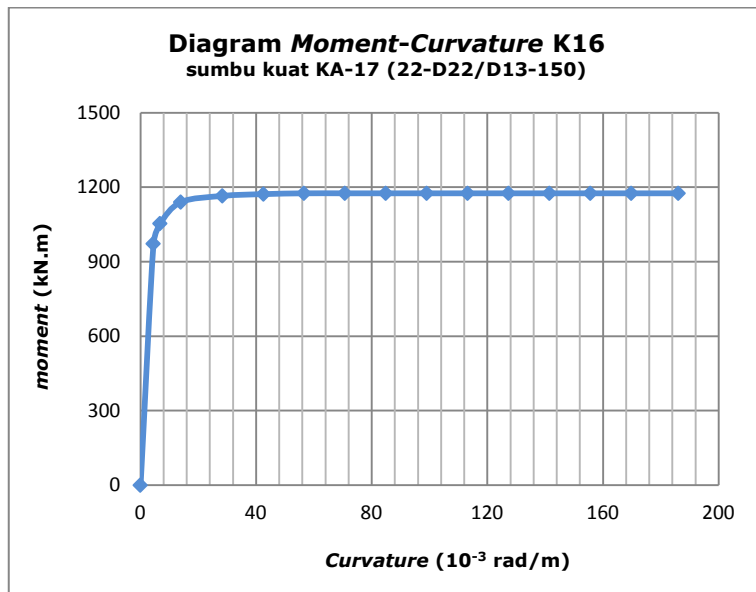
b. **Titik Pusat Massa dan Titik Pusat Rotasi**

Selisih pusat massa dan pusat rotasi yang terlalu besar harus dihindari supaya tidak terjadi puntir pada struktur bangunan.

c. **Kontrol Hasil Analisis Ragam**

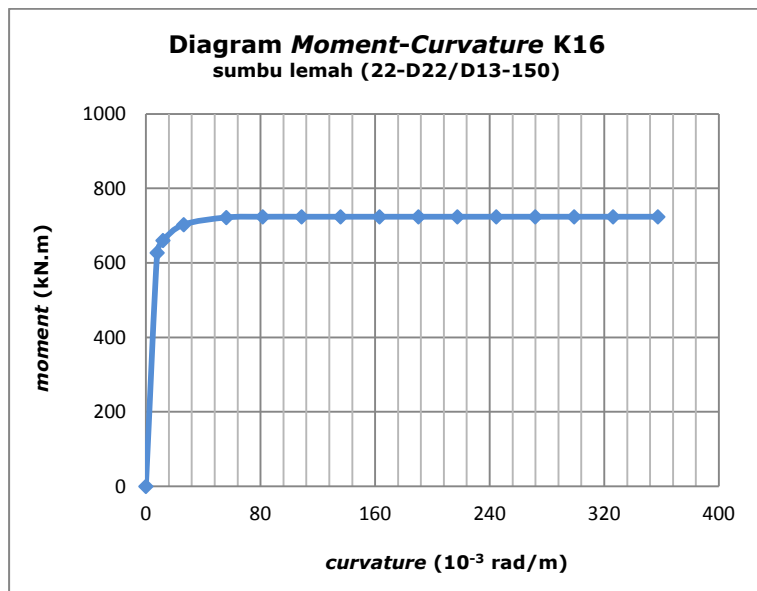
Setelah dilakukan analisis maka dibutuhkan *checking* terhadap hasil yang didapat dengan mengacu batasan-batasan pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002.

Diagram *moment-curvature* arah sumbu kuat K16 dengan tulangan longitudinal 22-D22 dan tulangan transversal D13-150, disajikan pada **Gambar**



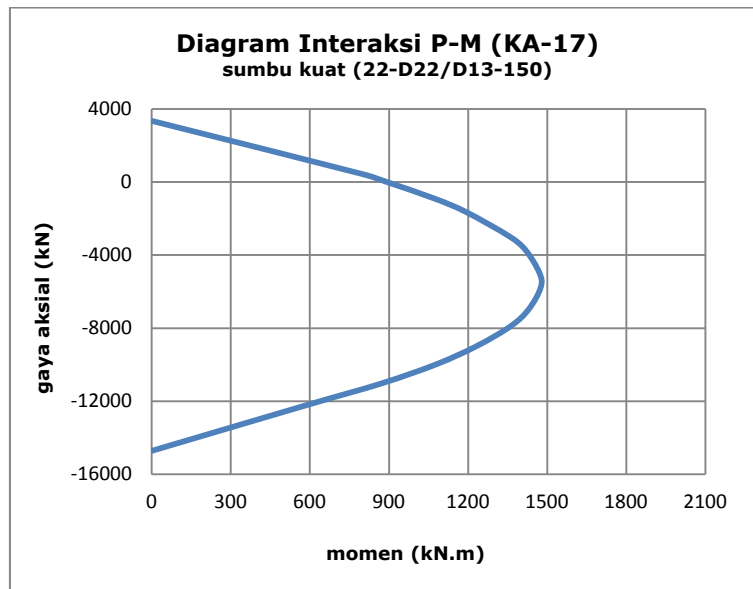
**Gambar:** *Moment-Curvature K16 (sumbu kuat)*  
Sumber: Hasil Analisis

Diagram *moment-curvature* arah sumbu lemah K16 dengan tulangan longitudinal 22-D22 dan tulangan transversal D13-150, disajikan pada **Gambar** :



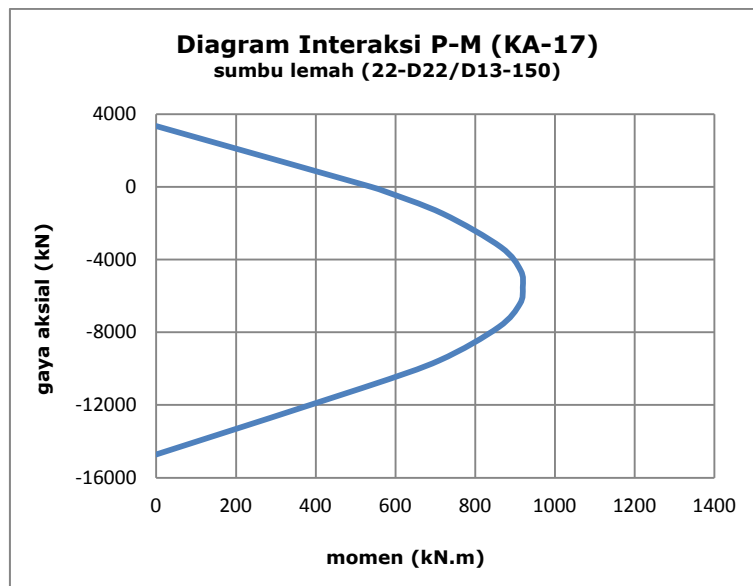
**Gambar:** *Moment-Curvature K16 (sumbu lemah)*  
Sumber: Hasil Analisis

Diagram P-M arah sumbu kuat KA-17 dengan tulangan longitudinal 22-D22 dan tulangan transversal D13-150, disajikan pada Gambar:



**Gambar:** Diagram Interaksi P-M KA-17 (sumbu kuat)  
Sumber: Hasil Analisis

Diagram P-M arah sumbu kuat K11 dengan tulangan longitudinal 22-D22 dan tulangan transversal D13-150, disajikan pada Gambar :

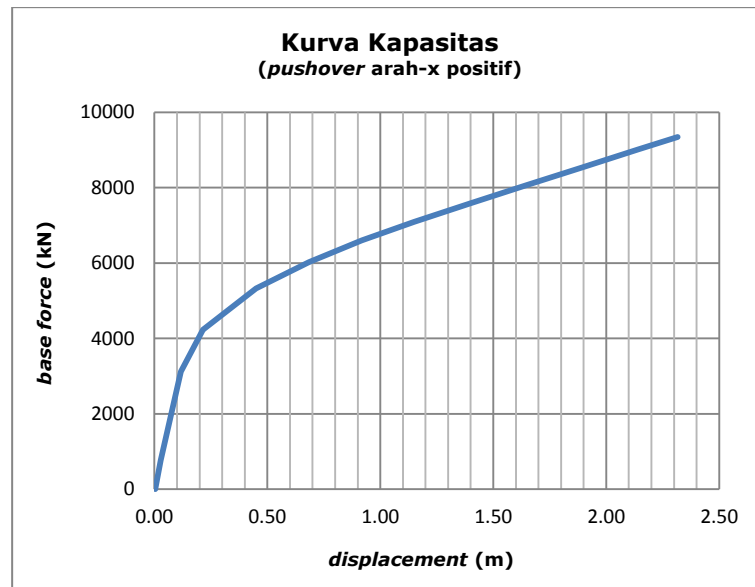


**Gambar:** Diagram Interaksi P-M KA-17 (sumbu lemah)  
Sumber: Hasil Analisis

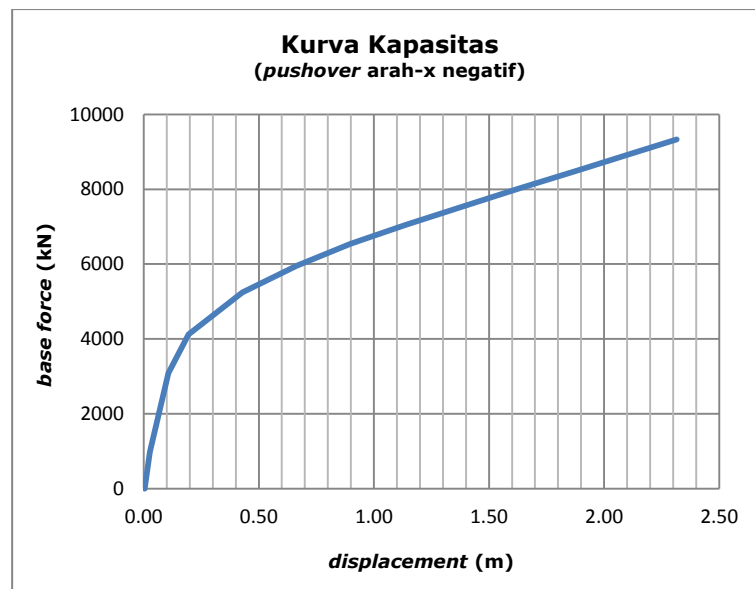
## Pembahasan

### Kurva Kapasitas dan Distribusi Sendi Plastis

Hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) yaitu kurva hubungan antara *displacement* dengan *base shear* dan skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi, disajikan dalam gambar dan tabel di bawah ini :

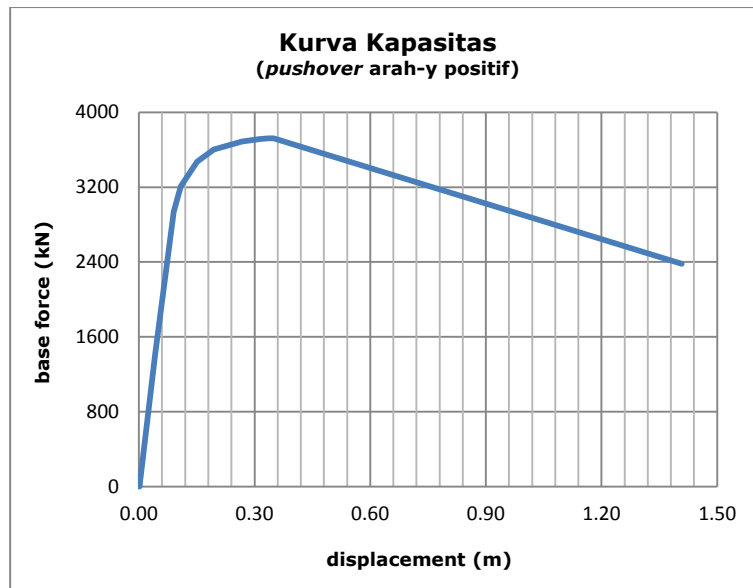


**Gambar:** Kurva Kapasitas (arah-x positif)  
Sumber: Hasil Analisis

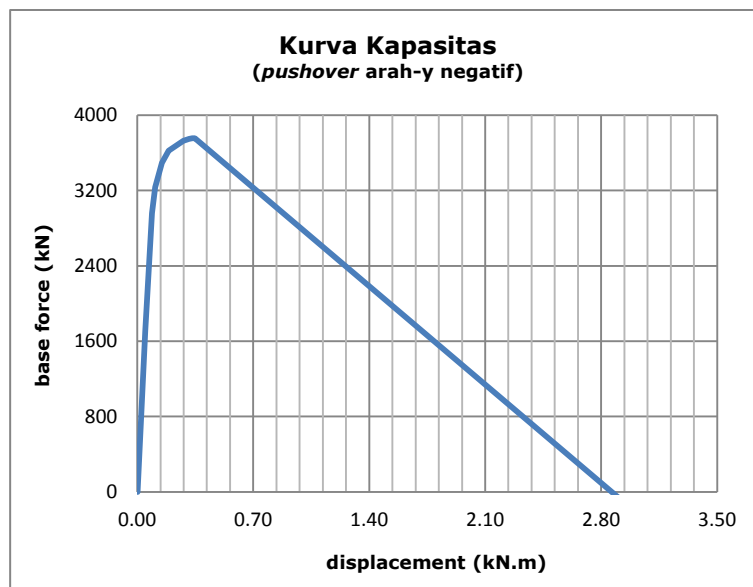


**Gambar:** Kurva Kapasitas (arah-x negatif)  
Sumber: Hasil Analisis





**Gambar:** Kurva Kapasitas (*arah-y positif*)  
Sumber: Hasil Analisis



**Gambar:** Kurva Kapasitas (*arah-y negatif*)  
Sumber: Hasil Analisis

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Dari analisis *pushover* didapatkan daktilitas ( $\mu_A$ ) aktual :
  - arah x (positif) : 3,85
  - arah x (negatif) : 3,96
  - arah y (positif) : 2,97
  - arah y (negatif) : 3,15

Hal ini menunjukkan bahwa daktilitas ( $\mu_d$ ) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ( $\mu_m = 4,0$  untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang)

2. Dari analisis *pushover* didapatkan faktor reduksi gempa ( $R$ ) aktual :
  - arah x (positif) : 6,2
  - arah x (negatif) : 6,3
  - arah y (positif) : 4,7
  - arah y (negatif) : 5,0

Hal ini menunjukkan bahwa faktor reduksi gempa ( $R$ ) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ( $R_m = 6,5$  untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang)

3. Nilai faktor daktilitas dan reduksi gempa aktual arah x lebih besar daripada nilai faktor daktilitas dan reduksi gempa aktual arah y, hal ini dipengaruhi oleh konfigurasi kolom dan dinding geser dari struktur yang tidak simetris.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ATC 40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California, USA.
2. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002, Badan Standarisasi Nasional.
3. Dewobroto, Wiryanto., 2005, Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover, Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
4. Kusumaningrum, Patria dan Danang, A. Hartandyo, 2002, Perilaku Struktur Beton dengan Dinding Geser Outrigger Dibawah Beban Gempa Kuat, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
5. Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R., 1988, *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, *Journal of the Structural Division*, ASCE.
6. Paulay, T., and Park, R., 1974, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
7. Paulay, T., and Priestly, M.J.N., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, Inc., New York.