

# EVALUASI KINERJA GEDUNG TIDAK BERATURAN TERHADAP VARIASI ARAH BEBAN GEMPA DENGAN *PUSHOVER ANALYSIS* (Studi Kasus : Gedung FKIP Universitas Almuslim)

Suhaimi

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim

Amrizal

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim

R. Dedi Iman Kurnia

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Almuslim

## ABSTRAK

Gempa merupakan getaran acak yang tidak bisa diprediksi dengan baik, waktu dan arah getarannya. Gempa tidak bisa diprediksi baik besarnya, waktunya dan juga arah getarannya. Dalam kasus ini akan di pelajari pengaruh acak getaran gempa dengan menggunakan variasi arah beban lateral statik dengan arah beban gempa  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Adapun metode penelitian ini untuk mengetahui pengaruh gedung baru FKIP terhadap berbagai variasi arah beban gempa dan diasumsikan terletak pada daerah gempa kuat dengan tanah lunak. Analisis gempa dilakukan dengan analisis respons spektrum Selanjutnya perilaku seismiknya dilakukan dengan memanfaatkan analisis *pushover software* ETABS v9.6.0. Berdasarkan hasil dari analisis diperoleh periode getar alami untuk portal arah beban gempa bangunan sumbu x adalah 0,4857 detik dan periode getar alami sumbu y adalah 0,4082 detik. Evaluasi kinerja dilakukan menurut SNI 03-1726-2003. Dari hasil kurva kapasitas *pushover* dapat diketahui diperoleh bahwa persentase peningkatan base shear maksimum dengan variasi arah pembebanan gempa  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  terhadap  $0^\circ$  tidak mengalami perubahan base shear untuk sumbu x. Sedangkan untuk sumbu y juga tidak mengalami perubahan base shear. Sebaliknya displacement mengalami penurunan masing – masing adalah 8.36%, 38.21% dan 87.74% untuk sumbu x, sedangkan untuk sumbu y diperoleh persentase penurunan displacement masing – masing 7.35%, 25.78% dan 80.12%. Hasil analisis *pushover* menunjukkan pola kerusakan struktur Portal Arah Beban Gempa  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  rata-rata terjadi pada balok kantilever.

Kata Kunci : Kapasitas Struktur, Arah Pembebanan, Analisis *Pushover*

## ABSTRACT

*The earthquake is a random vibration that can not be predicted well, time and direction of vibration. Earthquake magnitude can not be predicted well, the time and also the direction of vibration. In this case will study the influence of random vibration in the earthquake by using a variation of the load direction with the direction of the lateral static load earthquake  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ . The method of this study to determine the effect of the new building FKIP against a wide variety of directions and earthquake loads are assumed to lie in a strong earthquake areas with soft soil. The analysis done by the earthquake response spectrum analysis then was performed using seismic behavior of *pushover analysis software* ETABS v9.6.0. Based on the results obtained from the analysis of natural vibration periods for directions portal building earthquake load is 0.4857 sec x axis and y axis of the natural vibration period is 0.4082 seconds. Performance evaluation carried out according to SNI 03-1726-2003. From the results of *pushover capacity curve* obtained can be seen that the percentage increase in base shear with a maximum variation of the direction of earthquake loading  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$  to  $0^\circ$  does not change the base shear for the x axis As for the y axis is also not change the base shear. Conversely displacement decreased respectively each is 8.36%, 38.21% and 87.74% for the x axis, while for the y-axis displacement reduction percentage obtained each respectively 7.35%, 25.78% and 80.12%. *Pushover analysis results* showed a pattern of structural damage Expense Portal Directions Earthquake  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$  average occurs in the cantilever beam.*

*Keywords : Capacity Structure, Loading Direction, Pushover Analysis*

## PENDAHULUAN

Perencanaan gedung FKIP terhadap beban gempa sangat penting, mengingat Provinsi Aceh merupakan wilayah yang sering terjadinya gempa, gedung FKIP juga mempunyai bentuk yang tidak simetris sehingga mempunyai pengaruh yang ekstrim terhadap gempa. Resiko terjadinya korban jiwa ketika terjadi gempa dapat dikurangi dengan cara perencanaan gedung yang tahan terhadap gempa. Gempa merupakan getaran yang terjadi di permukaan bumi, kebanyakan gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang di hasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Gempa tidak bisa diprediksi, baik besarnya, waktunya dan juga arah getarannya. Dalam studi ini akan dipelajari respons struktur bangunan gedung terhadap variasi arah gempa dengan pengaruh getaran acak dari gempa terhadap gedung FKIP dengan menggunakan pendekatan variasi beban lateral statik pushover dengan sudut 0°, 25°, 45° dan 60°.

Cerminan perilaku gempa tersebut dilakukan dengan menggunakan suatu metode yaitu metode analisis statik non-linear *pushover* (ATC 40, 1997). Pada dasarnya analisis *pushover* ini memang cukup sederhana, yaitu suatu pola beban statik tertentu diberikan secara *incremental* dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai dari suatu bangunan hingga tercapai keruntuhan elemen struktur atau batasan *displacement*-nya terlampaui.

Salah satu varian metode statis nonlinier yang banyak diadopsi dan direkomendasikan oleh standar desain adalah Metode Spektrum Kapasitas (*Capacity Spectrum*). Metode ini sering kali disebut metode *pushover* karena dalam aplikasinya, digunakan analisis beban dorong statis nonlinier (*nonlinear static pushover analysis*), dimana struktur didorong secara bertahap hingga beberapa komponen struktur mengalami leleh dan berdeformasi inelastis.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gempa Bumi

Menurut Gallion dan Eisner, (1994) gempa bumi adalah guncangan yang terjadi ketika suatu regangan pada kulit bumi lepas secara tiba – tiba yang terakumulasi secara perlahan – lahan, biasanya berlangsung sepanjang garis yang disebut patahan. Menurut Fauzi (2006), kategori gempa bumi diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu gempa dalam (pusat gempa pada kedalaman 60 km – 600 km, gempa menengah antara 30 km – 60 km dan gempa dangkal berada pada kedalaman 0 – 30 km). Gempa disebabkan oleh dua faktor yaitu gempa tektonik dan gempa vulkanik. Gempa tektonik adalah gempa yang terjadi diakibatkan oleh pergeseran lempeng bumi sedangkan gempa vulkanik adalah gempa yang disebabkan oleh letusan gunung berapi.

Menurut Muto (1993), gerakan gempa untuk daerah tertentu sulit untuk ditaksir, tafsiran harus dibuat secara umum untuk suatu daerah atau kawasan. Faktor – faktor yang mempengaruhi kerusakan struktur bangunan pada daerah tertentu adalah :

- Besaran (Magnitude)
- Waktu (durasi)
- Ruang (Arah pergerakan)
- Kondisi tanah

Menurut Taulu (2008), magnitude (besar) gempa adalah penilaian kekuatan gempa yang tidak tergantung dari lokasi observasi. Skala magnitude gempa dinyatakan dengan angka biasa yang disebut skala Richter, skala Richter adalah suatu ukuran objektif kekuatan gempa dikaitkan dengan

magr  
tiban  
gelon  
pada  
Wakt  
detik

Anali  
Menu  
kerun  
doron  
denga  
ditingt  
Biasa  
analisi  
nilai y  
itu, ar  
elastis

Meski  
mengg  
yang t  
merup  
dipaka

Sasarar  
kerusak  
tersebut  
kinerja n

## PENDAHULUAN

Perencanaan gedung FKIP terhadap beban gempa sangat penting, mengingat Provinsi Aceh merupakan wilayah yang sering terjadinya gempa, gedung FKIP juga mempunyai bentuk yang tidak simetris sehingga mempunyai pengaruh yang ekstrim terhadap gempa. Resiko terjadinya korban jiwa ketika terjadi gempa dapat dikurangi dengan cara perencanaan gedung yang tahan terhadap gempa. Gempa merupakan getaran yang terjadi di permukaan bumi, kebanyakan gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang di hasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Gempa tidak bisa diprediksi, baik besarnya, waktunya dan juga arah getarannya. Dalam studi ini akan dipelajari respons struktur bangunan gedung terhadap variasi arah gempa dengan pengaruh getaran acak dari gempa terhadap gedung FKIP dengan menggunakan pendekatan variasi beban lateral statik pushover dengan sudut 0 , 25 , 45 dan 60 .

Cerminan perilaku gempa tersebut dilakukan dengan menggunakan suatu metode yaitu metode analisis statik non-linear *pushover* (ATC 40, 1997). Pada dasarnya analisis *pushover* ini memang cukup sederhana, yaitu suatu pola beban statik tertentu diberikan secara *incremental* dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai dari suatu bangunan hingga tercapai keruntuhan elemen struktur atau batasan *displacement*-nya terlampaui.

Salah satu varian metode statis nonlinier yang banyak diadopsi dan direkomendasikan oleh standar desain adalah Metode Spektrum Kapasitas (*Capacity Spectrum*). Metode ini sering kali disebut metode *pushover* karena dalam aplikasinya, digunakan analisis beban dorong statis nonlinier (*nonlinear static pushover analysis*), dimana struktur didorong secara bertahap hingga beberapa komponen struktur mengalami leleh dan berdefomasi inelastis.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gempa Bumi

Menurut Gallion dan Eisner, (1994) gempa bumi adalah guncangan yang terjadi ketika suatu regangan pada kulit bumi lepas secara tiba – tiba yang terakumulasi secara perlahan – lahan, biasanya berlangsung sepanjang garis yang disebut patahan. Menurut Fauzi (2006), kategori gempa bumi diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu gempa dalam (pusat gempa pada kedalaman 60 km – 600 km, gempa menengah antara 30 km – 60 km dan gempa dangkal berada pada kedalaman 0 – 30 km). Gempa disebabkan oleh dua faktor yaitu gempa tektonik dan gempa vulkanik. Gempa tektonik adalah gempa yang terjadi diakibatkan oleh pergeseran lempeng bumi sedangkan gempa vulkanik adalah gempa yang disebabkan oleh letusan gunung berapi.

Menurut Muto (1993), gerakan gempa untuk daerah tertentu sulit untuk ditaksir, tafsiran harus dibuat secara umum untuk suatu daerah atau kawasan. Faktor – faktor yang mempengaruhi kerusakan struktur bangunan pada daerah tertentu adalah :

- a. Besaran (Magnitude)
- b. Waktu (durasi)
- c. Ruang (Arah pergerakan)
- d. Kondisi tanah

Menurut Taulu (2008), magnitude (besar) gempa adalah penilaian kekuatan gempa yang tidak tergantung dari lokasi observasi. Skala magnitude gempa dinyatakan dengan angka biasa yang disebut skala Richter, skala Richter adalah suatu ukuran objektif kekuatan gempa dikaitkan dengan

magn  
tibany  
gelon  
pada  
Wakt  
detik

Anali  
Menu  
kerun  
doron  
denga  
ditingl  
Biasal  
analis  
nilai y  
itu, ar  
elastis

Meski  
mengg  
yang l  
merup  
dipaka

Sasara  
kerusal  
tersebu  
kinerja

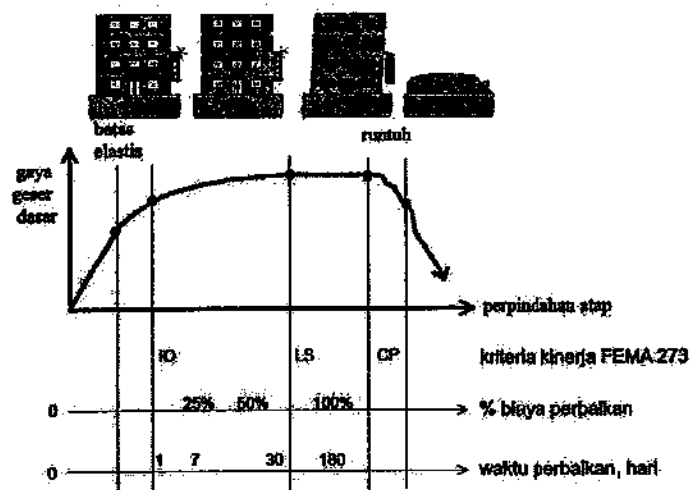
magnitudonya. Besarnya gempa ini dihitung dari data gempa atau seismogram yakni berdasarkan waktu tibanya (seismograf), gelombang primer (P) waktu tiba gelombang sekunder (S) dan amplitude gelombang maksimum S yang dicatat oleh seismograf. Intensitas gempa adalah derajat guncangan pada lokasi tertentu.

Waktu (durasi) adalah lama terjadi guncangan, biasanya di bawah 10 detik, tetapi dapat lebih dari 40 detik pada kekuatan gempa yang lebih besar.

### Analisa Pushover

Menurut Pranata (2006), Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Dasar dari analisis *pushover* sebenarnya sangat sederhana, yaitu Analisa 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. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui nilai-nilai gaya geser dasar untuk perpindahan lantai atap tertentu. Nilai-nilai yang didapatkan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva kapasitas dari 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 dasar analisis ini sangat sederhana, informasi yang dihasilkan akan berguna karena mampu menggambarkan respons inelastis bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis maupun desain, tetapi merupakan suatu langkah maju dengan memperhitungkan karakteristik respons non-linear yang dapat dipakai sebagai ukuran *performance* suatu bangunan pada waktu digoncang gempa kuat.



Gambar 1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja ( ATC 58 )

Sumber : Dewobroto (2005)

Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Mengacu pada FEMA-273 (1997) yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur, adalah :

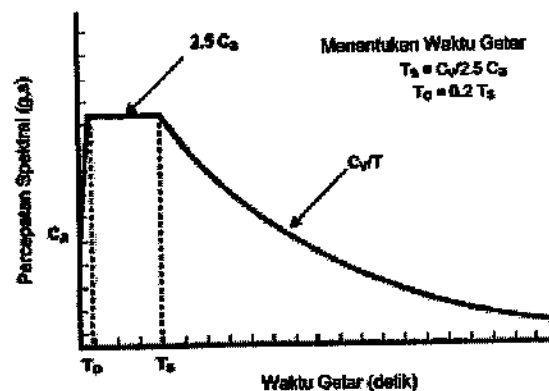
- a. Segera dapat dipakai (IO = *Immediate Occupancy*),
- b. Keselamatan penghuni terjamin (LS = *Life-Safety*),
- c. Terhindar dari keruntuhan total (CP = *Collapse Prevention*).

### Metoda Spektrum Kapasitas

Menurut Dewobroto (2006), metoda spektrum kapasitas merupakan metoda utama ATC 40 (ATC 1996), meskipun dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, tetapi ternyata banyak juga diaplikasikan pada konstruksi lain. Dalam Metoda Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*).

Format tersebut adalah konversi sederhana dari kurva hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan lateral titik kontrol dengan menggunakan properti dinamis sistem dan hasilnya disebut sebagai kurva kapasitas struktur. Gerakan tanah gempa juga dikonversi ke format ADRS. Hal itu menyebabkan kurva kapasitas dapat di-plot-kan pada sumbu yang sama sebagai gaya gempa perlu. Pada format tersebut waktu getar ditunjukkan sebagai garis radial dari titik pusat sumbu.

Waktu getar ekuivalen,  $T_e$ , dianggap sebagai secant waktu getar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekuivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif. ATC-40 menetapkan batas redaman ekuivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat gradual. Cara ini telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva Respons Spektrum Rencana dengan parameter seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Parameter Data Respons Spektrum Rencana  
 Sumber : Dewobroto (2006)

### Kurva Beban Dorong Statik

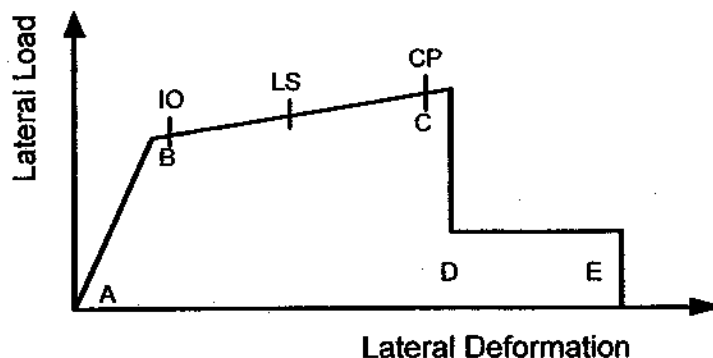
Menurut Habibullah (1998), kurva beban dorong statik digambarkan sebagai hubungan antara gaya geser dasar dengan peralihan atap seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3 juga memperlihatkan perilaku pasca elastik struktur portal yang diwakili oleh lima titik. Titik A merupakan kondisi awal struktur tanpa beban, selanjutnya elemen mencapai leleh pada Titik B. Tidak ada deformasi

seni  
 linie  
 ultin  
 Ker  
 di b  
 stati

Has  
 kebu  
 men  
 Spe  
 gam

di m  
 S<sub>a</sub>

sendi plastis yang terjadi sampai dengan titik B. Sebelum mencapai titik B, semua deformasi adalah linier dan terjadi dalam portal itu sendiri, tidak dalam sendi plastis. Ordinat C menyatakan kapasitas ultimit struktur telah dicapai. Hal ini berarti bahwa deformasi dengan penurunan kekakuan telah dimulai. Kerusakan elemen ditunjukkan oleh garis menurun C – D. Kemampuan struktur terhadap beban lateral di bawah titik C tidak terjamin. Titik D merupakan kekuatan sisa (*residual strength*) untuk beban dorong statik, sedangkan titik E menunjukkan kerusakan total struktur telah terjadi.



Gambar 3. Kurva beban-deformasi untuk pushover  
Sumber : Habibullah (1998)

Hasil dari analisis *pushover* adalah kurva kapasitas (*capacity curve*). Agar kurva kapasitas dan kurva kebutuhan ini dapat dibandingkan secara langsung, maka kurva kapasitas struktur harus digambarkan menjadi satu dengan kurva kebutuhan dalam format *Acceleration (S<sub>a</sub>) and Displacement (S<sub>d</sub>) Response Spectrum (ADRS)*. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* diubah menjadi spektrum kapasitas seperti gambar 4 melalui persamaan berikut ini :

$$S_a = \frac{V}{\alpha_1 \cdot W}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \cdot \phi_{1,roof}}$$

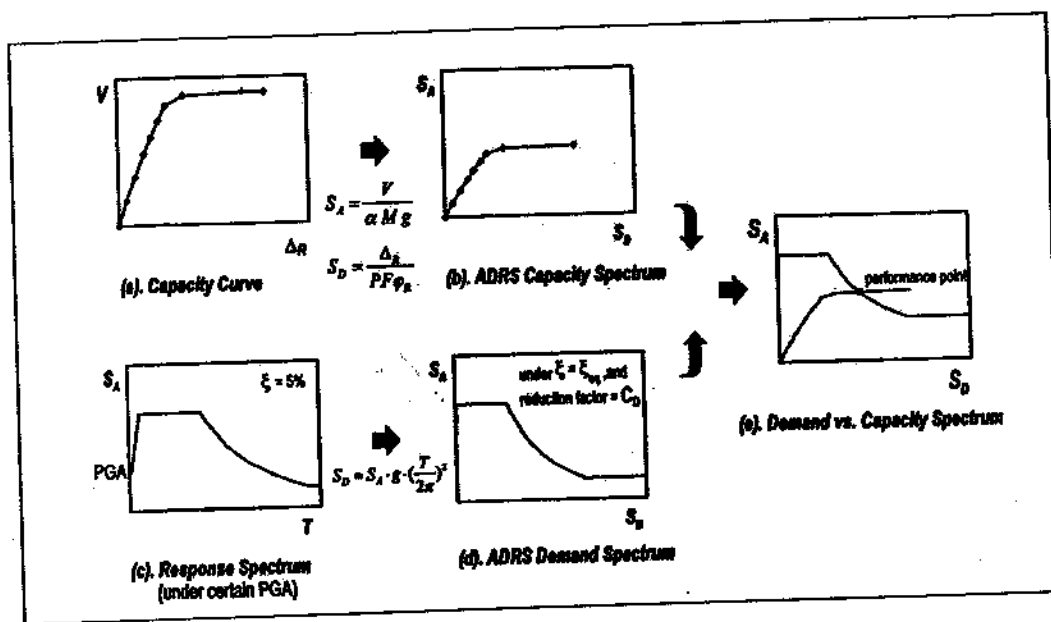
$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{W_i \cdot \phi_{1i}}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{W_i}{g} \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^N \frac{W_i \cdot \phi_{1i}^2}{g} \right]}$$

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{W_i \cdot \phi_{1i}}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{W_i \cdot \phi_{1i}^2}{g}}$$

di mana:

$S_a$  = Spectral acceleration

- $S_d$  = Spectral displacement
- $\alpha_1$  = Modal mass coefficient untuk mode pertama
- $PF_1$  = Modal participation factor untuk mode pertama
- $V$  = Base shear
- $W$  = M.g = Berat mati bangunan
- $\Delta_{roof}$  = Roof displacement
- $\phi_{1i}$  = Amplitude of first mode pada level  $i$
- $\frac{w_i}{g}$  = Massa pada level



Gambar 4. Proses pembentukan performance point

Kurva kebutuhan (*demand*) diperoleh dengan mengubah kurva respons spektrum ke dalam format Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS) melalui persamaan berikut ini :

$$S_d = \left[ \frac{T}{2\pi} \right]^2 \cdot S_a \cdot g$$

Di mana  $T$  adalah waktu getar alami dari struktur bangunan

Dalam mendapatkan kurva kebutuhan (*demand spectrum*), respons spektrum dalam format ADRS ini direduksi dengan suatu konstanta. Untuk respons spektrum dengan percepatan yang konstan direduksi dengan  $SR_A$ , sedangkan untuk respons spektrum dengan kecepatan yang konstan direduksi dengan  $SR_V$ , dimana :

$$SR_A = \frac{3,21 \cdot 0,68 \ln \frac{63,7K(a_y d_y \cdot d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}}{2,12} \cdot 5$$

$$SR_V = \frac{2,31.0,41 \ln \frac{63,7K(a_y d_y \cdot d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}}{1,65}^5$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk sederhana:

$$SR_A = \frac{3,21.0,68 \ln_{eff}}{2,12}$$

$$SR_V = \frac{2,31.0,41 \ln_{eff}}{1,65}$$

dimana:

$a_y, d_y$  titik koordinat dari titik leleh efektif dari kurva kapasitas

$a_{pi} d_{pi}$  titik *trial performance point*

$K$  faktor modifikasi *damping*

$_{eff}$  *effective damping ratio* akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %)

Selanjutnya, hasil dari kurva kebutuhan dan kurva kapasitas dalam format ADRS ini diplotkan ke dalam satu grafik dan perpotongan antara dua kurva tersebut adalah *performance point* yang menggambarkan perpindahan struktur maksimum yang diharapkan terhadap *demand spectrum* dari setiap periode ulang gempa rencana. Setelah *performance point* diperoleh, dapat diketahui nilai simpangan antar tingkat dan posisi sendi plastis.

## METODOLOGI

### Data Perencanaan Bangunan

Bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah bangunan yang telah direncanakan. Untuk keperluan analisa pushover diperlukan sejumlah input data dengan asumsi desain sebagai berikut :

Data bangunan terdiri dari :

- Denah dan tampak bangunan
- Fungsi bangunan : Untuk Ruang Belajar
- Jumlah lantai : 3 lantai
- Tebal lantai : 12 cm
- Wilayah gempa : Wilayah 3
- Faktor Reduksi Gempa (R) : 8,5 (untuk portal terbuka)
- Jenis tanah : Tanah Sedang
- Faktor keutamaan : 1
- *Hinge properties* : *Deformation controlled*

### Mutu Bahan

Material yang dipakai pada penelitian ini adalah beton (*concrete*). Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung SNI 1726-2003, data material yang digunakan adalah sebagai berikut:



- a. Mutu baja ( $f_y$ ) = 300 MPa
- b. Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 MPa
- c. Mutu baja sengkang ( $f_{ys}$ ) = 240 MPa
- d. Tegangan geser beton ( $f_{cs}$ ) = 20 MPa
- e. Berdasarkan SKSNI-03-2847-2002 untuk modulus elastisitas beton normal

$$E_c \text{ diambil sebesar } 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{25} \\ = 23500 \text{ Mpa}$$

### Perhitungan Pembebanan

Beban vertikal yang diterima portal adalah beban mati dan beban hidup. Berdasarkan SKSNI-03-2847-2002, gaya akibat beban mati dan beban hidup pada gedung harus dikombinasikan dengan faktor beban yang disyaratkan dalam perencanaan. Beban mati yang diterima portal adalah beban balok dan beban yang sifatnya tidak berubah dan akan menetap selama konstruksi tetap berdiri. Karena balok memiliki dimensi sendiri sehingga beban balok dapat dihitung otomatis oleh Software ETABS v9.6.0. Beban hidup mencakup berat orang dan berat benda yang sifatnya selalu berubah-ubah.

Beban mati dan beban hidup pada lantai dilimpahkan pada balok portal dalam bentuk beban segitiga dan trapesium dengan sistem distribusi beban.

Analisa ragam spektrum respons digunakan sebagai simulasi gempa, yaitu memakai Spektrum Respons Gempa Rencana dari SNI – 1726 – 2003, bangunan tersebut dibangun di atas tanah sedang dan berada di wilayah 3 dari peta gempa. Untuk memperhitungkan percepatan gempa yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama dianggap efektif 100% dan dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi dengan efektifitas sebesar 30%. Ketentuan tersebut dipenuhi dengan memakai option ETABS saat mendefinisikan analisa ragam spektrum respons, sehingga pada saat mendefinisikan kombinasi pembebanan tidak perlu diulang.

### Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah berikut ini diperlukan untuk menjalankan analisa pushover menggunakan ETABS v9.6.0 adalah :

1. Penentuan beban yang bekerja pada bangunan.
2. Input model bangunan sesuai dengan fitur dan perintah yang tersedia dalam program ETABS v9.6.0.
3. Evaluasi struktur, struktur harus aman terlebih dahulu terhadap beban gravitasi sebelum analisis pushover dilakukan. Apabila struktur belum aman maka struktur harus diperbaiki.
4. Penentuan properti sendi plastis yang akan digunakan. Dalam penelitian ini properti sendi plastis PMM digunakan untuk kolom sedangkan M3 untuk balok.
6. Penentuan beban lateral yang akan digunakan untuk analisa beban dorong statik. Dalam hal ini digunakan beban lateral mode dominan.
7. Pemilihan jenis analisa pushover yang diinginkan. Ada dua kontrol beban dorong statik yang tersedia dalam ETABS v9.6.0, yaitu *displacement control* dan *force control*. Dalam penelitian ini hanya digunakan *displacement control*.
8. Jalankan (*Run*) analisis pushover.
9. Komparasi kinerja gedung FKIP terhadap variasi arah beban gempa

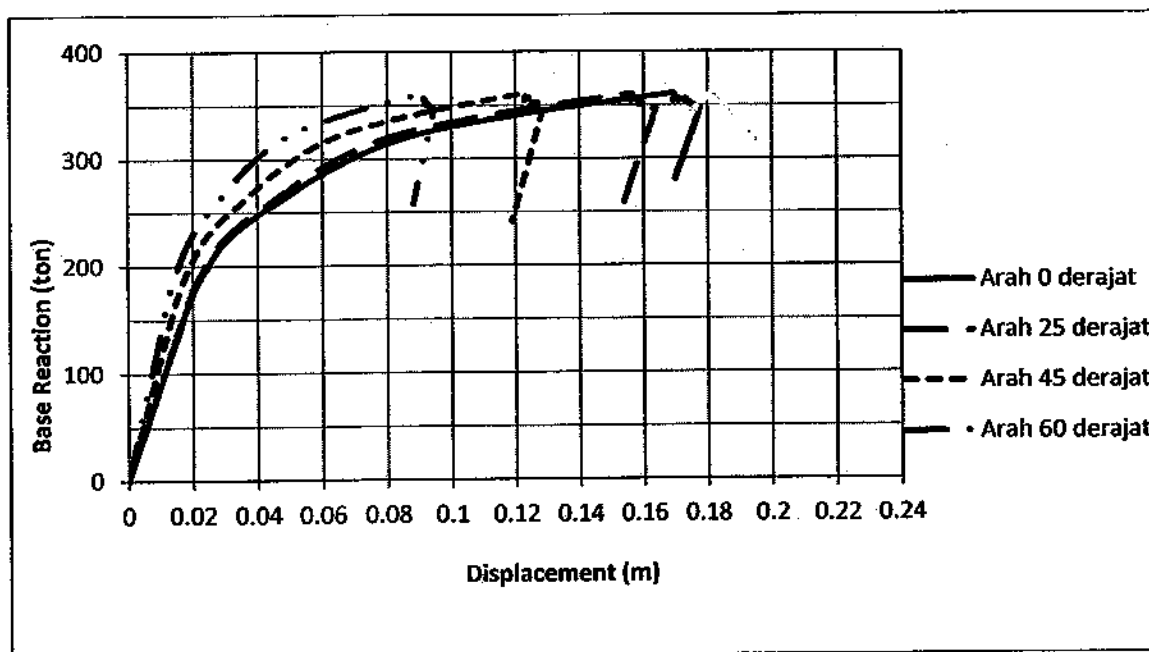
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Waktu Getar Alami Gedung

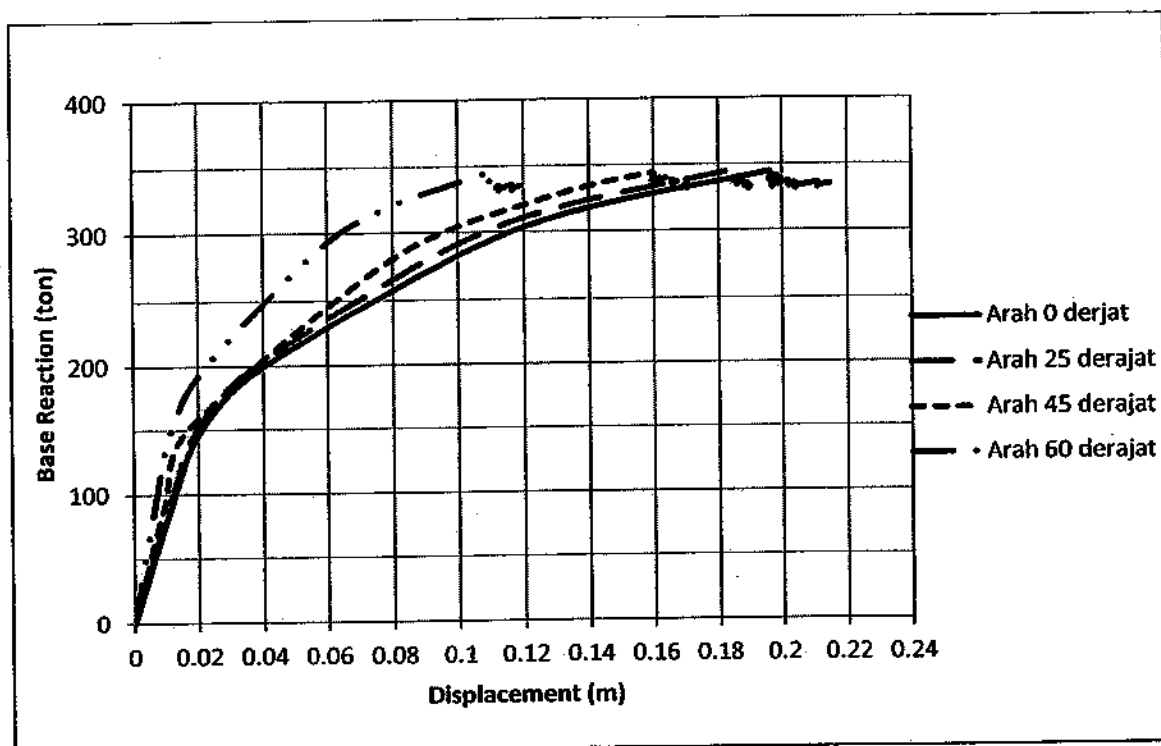
Dari hasil analisis dengan menggunakan respons spektra dengan memanfaatkan program ETABS v9.6.0 berdasarkan dimensi balok dan kolom sesuai dengan gambar yang telah direncanakan oleh CV. Cremona Consultan. Hasilnya berupa *check concrete design*. Periode getar alami untuk portal arah beban gempa  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  sumbu x adalah 0,4857 detik dan periode getar alami sumbu y adalah 0,4082 detik. Dari hasil analisis didapatkan periode getar sumbu y lebih kecil dari periode getar sumbu x, hal ini disebabkan karena dimensi kolom banyak menghadap ke sumbu x sehingga sumbu x adalah sumbu kuat. Untuk memenuhi pasal 7.1.3 SNI 03-1726-2003 faktor skala (*scale factor*) yang digunakan untuk analisa respons spektrum dinamik adalah faktor yang telah dikoreksi yaitu 2.546 untuk sumbu x dan 2.637 untuk sumbu y.

### Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (kurva *pushover*) adalah kurva yang menunjukkan hubungan gaya geser dasar (*base shear*) terhadap peralihan (*displacement*), yang memperlihatkan perubahan perilaku struktur dari linier menjadi non-linier, berupa penurunan kekakuan yang diindikasikan dengan penurunan kemiringan kurva akibat terbentuknya sendi plastis pada kolom dan balok.



Gambar 5. Kurva *pushover* portal arah beban gempa  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  untuk sumbu x



Gambar 6. Kurva *pushover* portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° untuk sumbu y

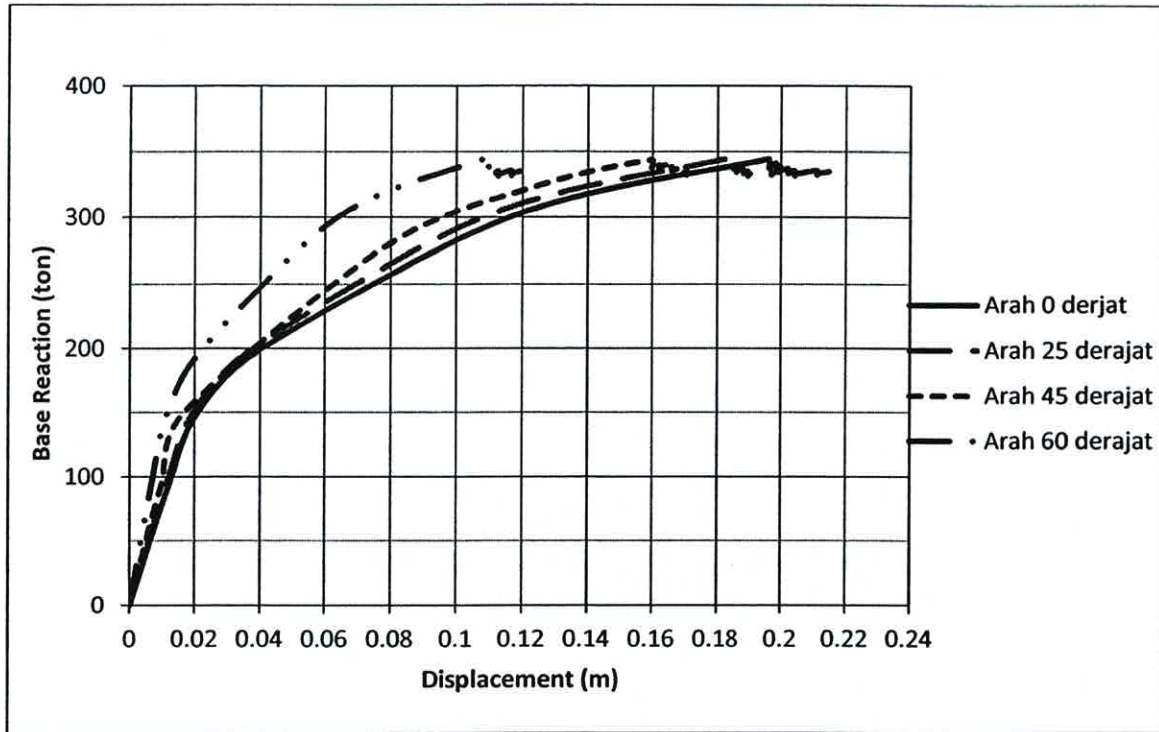
Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kurva kapasitas *pushover* portal bangunan gedung beton bertulang dengan variasi arah pembebanan gempa 0°, 25°, 45° dan 60°. Hasil penggambaran kurva kapasitas untuk masing – masing arah pembebanan gempa diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6. Perbandingan antara *base shear* dengan *displacement* maksimum yang diperoleh melalui *software* ETABS v.9.6.0 diperlihatkan pada Tabel 1. Tabel 1 memperlihatkan bahwa *base shear* maksimum relatif sama untuk variasi arah pembebanan gempa. Sebaliknya variasi *displacement* masing – masing memperlihatkan trend penurunan terhadap peningkatan arah pembebanan gempa.

Tabel 1. Perbandingan *base shear* maksimum dan *displacement* portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60°

Portal	Base Shear (ton)		Displacement (m)	
	X	Y	X	Y
Arah Beban 0°	361.007	344.419	0,1776	0.2147
Arah Beban 25°	361.007	344.419	0.1639	0.2000
Arah Beban 45°	361.007	343.951	0.1285	0.1707
Arah Beban 60°	361.007	344.419	0.0946	0.1192

#### Evaluasi Kinerja Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas menurut ATC-40 merupakan metode yang telah *built-in* dalam program ETABS v9.6.0. Metode ini mengkonversi kurva *pushover* dan kurva respons spektrum yang telah direduksi ke format ADRS sehingga dapat diplotkan pada sumbu yang sama. Data yang dimasukkan cukup dengan memberikan kurva Respons Spektra Rencana. Dalam hal ini cukup memasukkan



Gambar 6. Kurva *pushover* portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° untuk sumbu y

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kurva kapasitas *pushover* portal bangunan gedung beton bertulang dengan variasi arah pembebanan gempa 0°, 25°, 45° dan 60°. Hasil penggambaran kurva kapasitas untuk masing – masing arah pembebanan gempa diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6. Perbandingan antara *base shear* dengan *displacement* maksimum yang diperoleh melalui *software* ETABS v.9.6.0 diperlihatkan pada Tabel 1. Tabel 1 memperlihatkan bahwa *base shear* maksimum relatif sama untuk variasi arah pembebanan gempa. Sebaliknya variasi *displacement* masing – masing memperlihatkan trend penurunan terhadap peningkatan arah pembebanan gempa.

Tabel 1. Perbandingan *base shear* maksimum dan *displacement* portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60°

Portal	Base Shear (ton)		Displacement (m)	
	X	Y	X	Y
Arah Beban 0°	361.007	344.419	0,1776	0.2147
Arah Beban 25°	361.007	344.419	0.1639	0.2000
Arah Beban 45°	361.007	343.951	0.1285	0.1707
Arah Beban 60°	361.007	344.419	0.0946	0.1192

### Evaluasi Kinerja Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas menurut ATC-40 merupakan metode yang telah *built-in* dalam program ETABS v9.6.0. Metode ini mengkonversi kurva *pushover* dan kurva respons spektrum yang telah direduksi ke format ADRS sehingga dapat diplotkan pada sumbu yang sama. Data yang dimasukkan cukup dengan memberikan kurva Respons Spektra Rencana. Dalam hal ini cukup memasukkan

parameter Ca dan Cv, dalam analisa ini digunakan tanah sedang sehingga nilai untuk Ca adalah 0,22 dan untuk Cv adalah 0,33. Hasil evaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Evaluasi performance based design menurut ATC-40**

Portal	Performance Point			
	Base Shear (ton)		Displacement (m)	
	X	Y	X	Y
Arah Beban 0°	241.432	211.680	0.038	0.049
Arah Beban 25°	298.587	84.141	0.068	0.0098
Arah Beban 45°	311.719	0.112	0.060	0.000049
Arah Beban 60°	303.013	39.334	0.043	0.00275

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja menurut metode spektrum kapasitas (ATC-40), kinerja gedung FKIP dengan arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° masih aman pada saat terjadinya gempa kuat karena level kerjanya berada pada batas LS (*Life Safety*). Berdasarkan ATC- 40 tingkat kinerja LS menunjukkan keselamatan pengguna gedung masih terjamin saat terjadinya gempa kuat.

### Evaluasi Kinerja Menurut SNI 03-1726-2003

Berdasarkan gempa nominal yang diperoleh dari analisis struktur dengan cara respons spektrum diperoleh simpangan ultimit pada atap untuk portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Simpangan ultimit portal arah beban gempa 0°**

Level	Elevasi (m)	Simpangan Nominal		Simpangan Ultimit		Nilai Batas 0,02 H (m)
		X	Y	$\xi R.X$	$\xi R.Y$	
Atap	12,5	0.0109	0.0079	0.017	0,013	0,252

**Tabel 4. Simpangan ultimit portal arah beban gempa 25°**

Level	Elevasi (m)	Simpangan Nominal		Simpangan Ultimit		Nilai Batas 0,02 H (m)
		X	Y	$\xi R.X$	$\xi R.Y$	
Atap	12,5	0.0088	0.0073	0.014	0.012	0,252

**Tabel 5. Simpangan ultimit portal arah beban gempa 45°**

Level	Elevasi (m)	Simpangan Nominal		Simpangan Ultimit		Nilai Batas 0,02 H (m)
		X	Y	$\xi R.X$	$\xi R.Y$	
Atap	12,5	0.0072	0.0084	0,011	0,013	0,252

**Tabel 6. Simpangan ultimit portal arah beban gempa 60°**

Level	Elevasi (m)	Simpangan Nominal		Simpangan Ultimit		Nilai Batas 0,02 H (m)
		X	Y	$\xi R.X$	$\xi R.Y$	
Atap	12,5	0.0071	0.0100	0,011	0,016	0,252

Untuk gedung tidak beraturan maka  $\xi = 0,7R$ \*faktor skala, dalam penelitian ini  $\xi$  untuk sumbu x =  $0,7*8,5*0.259 = 1.541$ , sedangkan untuk sumbu y  $\xi = 0,7*8,5*0.268 = 1.595$ , dari perhitungan pada Tabel 3 - 6 diketahui bahwa simpangan ultimit masih kecil dari nilai batas maksimum, jadi struktur memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan SNI 03-1726-2003.

## KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis dengan program ETABS v9.6.0 menunjukkan periode getar alami yang dimiliki bangunan untuk sumbu x adalah 0,4857 detik dan periode getar alami sumbu y adalah 0,4082 jadi struktur aman yang telah disyaratkan dalam SNI-03-1726-2003 untuk waktu getar alami.
2. Dari perbandingan kurva *pushover* dapat diketahui bahwa persentase *base shear* maksimum dengan variasi arah pembebanan gempa 25°, 45° dan 60° terhadap 0° tidak mengalami perubahan *base shear* maksimum untuk portal arah sumbu x dan sumbu y. Sebaliknya *displacement* mengalami penurunan masing – masing adalah 8.36%, 38.21% dan 87.74% , untuk sumbu x, Sedangkan untuk sumbu y diperoleh persentase penurunan *displacement* masing – masing 7.35%, 25.78% dan 80.12% disebabkan pada arah beban gempa yang bersudut bangunan terlalu kaku.
3. Dari hasil analisis beban dorong statik (*Pushover*) diketahui kinerja yang diperlihatkan oleh gedung dengan arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° tidak ada yang melewati batas LS (*Life Safety*). Jadi kinerja 0°, 25°, 45° dan 60° dalam arah x dan y dapat diterima.
4. Hasil analisa *pushover* menunjukkan pola kerusakan struktur portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° terjadi pada balok kantilever dan balok lantai satu .
5. Dari hasil perhitungan batas ultimit dapat diketahui bahwa simpangan ultimit untuk portal arah beban gempa 0°, 25°, 45° dan 60° masih kecil dari nilai batas maksimum 0,252 meter, jadi struktur memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan SNI 03-1726-2003.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN -

- Anonim, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Direktorat Penyelidikan Masalah bangunan, LPMB, Bandung.
- Anonim, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*, Applied Technology Council, California.
- Anonim, 2000, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI-2847-2002, Bandung.
- Anonim, 2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen KIMPRASWIL, Bandung.
- Anonim, 2003, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-1726-2003, Bandung.
- Andianto, H.R, 2007, *Analisis Struktur Gedung Dengan ETABS Versi 9.0.7*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Dewobroto. W, 2006, *Evaluasi Kinerja Portal Baja Tahan Gempa Dengan SAP2000*, Jurnal Teknik Sipil, vol.3, no.1, pp. 7 – 24.
- Gallion. A. B, dan Eisiener. S, 1994, *Dasar – Dasar Beton Bertulang*, Erlangga Jakarta.
- Gunawan dan H, 2001, Andrian, G. 2004, *Evaluasi Kinerja Inelastik Struktur Rangka Beton Bertulang Terhadap Gempa Dua Arah Menggunakan Metode Pushover Dengan Time Histori*.
- Kusuma. G dan W. Cvis, 1993, *Dasar – Dasar Beton Bertulang*, Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta.
- Muto. K, 1993, *Analisis Gedung Tahan Gempa*, Erlangga, Jakarta.
- Pranata, Y.A, 2006, *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Pushover Analisis (Sesuai ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440)*, Jurnal Teknik Sipil, vol.3, no.1, pp. 41 – 52.