

STUDI ASSESSMENT KERENTANAN GEDUNG FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAMRATULANGI MANADO MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS*

Yohanes Debrito Dalo

Banu Dwi Handono, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: yohanesdallo@gmail.com

ABSTRAK

Performance Based Earthquake Engineering (PBEE) merupakan trend terbaru perencanaan maupun evaluasi bangunan terhadap gempa. *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)* dilakukan untuk memperkirakan kondisi inelastis bangunan saat terjadi gempa untuk mendapatkan level kinerjanya. Bangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado sesuai dengan gambar kerja yang ada. Bangunan merupakan bangunan eksisting beton bertulang dengan ketinggian 13 lantai dan tinggi total bangunan 56 m dengan lebar 21 m yang akan di evaluasi berdasarkan konsep PBEE. Analisis pushover (build-in pada program SAP2000) berdasarkan ATC – 40 (capacity spectrum method) dimana kondisi kerusakan (damage states) dikategorikan dalam berbagai level, FEMA – 356 dan FEMA – 440 (displacement coefficient method) merupakan metode dengan memodifikasi respon elastic linier sistem struktur sehingga diperoleh perpindahan yang disebut sebagai target perpindahan. Dari Hasil penelitian didapat nilai perpindahan maksimum 0,998 m dan gaya geser maksimum 3017866,5 kg untuk arah X dan untuk arah Y nilai perpindahan maksimum 0,728 m dan gaya geser maksimum 2590323,88. Dari hasil evaluasi struktur FEMA 356 dan ATC 40 maka level kinerja struktur bangunan tinjauan berada pada batas antara Life Safety (LS) – Collapse Prevention (CP).

Kata Kunci: *Pushover analysis, Level kinerja, Kerentanan, Keruntuhan*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang berada di jalur gempa pasifik (*Circum Pacific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga tingkat risiko terjadinya gempa bumi sangatlah tinggi. Gempa merupakan suatu fenomena alam yang tidak mungkin dicegah ataupun diprediksi kapan akan terjadi. Dengan risiko terjadinya gempa yang sangat tinggi ini di wilayah Indonesia, maka sangat tinggi pula risiko kerusakan bangunan yang akan terjadi. Hal ini dapat dilihat dengan berbagai kejadian gempa dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah di Indonesia.

Keadaan ini menyebabkan sistem struktur bangunan yang akan dibangun harus memenuhi serta mengikuti kaidah bangunan tahan gempa sehingga ketika terjadi gempa, struktur yang dibangun dapat bertahan dan melindungi penghuninya dari bahaya gempa bumi. Masalah yang muncul adalah pada

bangunan yang telah berdiri, apakah dalam perencanaan bangunan tersebut telah mengikuti peraturan yang ada atau tidak, sehingga evaluasi kinerja struktur bangunan perlu pemeriksaan kembali. Untuk itu diperlukan *assessment* terhadap bangunan-bangunan yang telah ada, agar dapat diketahui tingkat kinerja struktur bangunan tersebut dan juga pola keruntuhannya. (tingkat kinerja struktur). Dengan adanya gempa, karena kolom bawah pada bangunan lebih lemah, maka keruntuhan terjadi pada kolom bawah. Kolom ini merupakan komponen struktur yang menopang balok, lantai, serta seluruh beban di lantai tersebut serta lantai-lantai di atasnya. Ini dapat menyebabkan kerusakan parah pada struktur bangunan yang membuat bangunan runtuh atau terpaksa harus diruntuhkan karena tidak memungkinkan dilakukan perbaikan.

Rumusan Masalah

Untuk mengetahui kerentanan dan level kinerja bangunan terhadap beban gempa,

maka perlu dilakukan studi *assessment* kerentanan bangunan menggunakan analisis statik non linier yaitu *pushover analysis*.

Dengan perkembangan teknologi analisis static non linier mampu disederhanakan. Untuk itu penulis tertarik membahas “ Studi *Assessment* Kerentanan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi dengan Menggunakan Metode *Pushover Analysis* “.

Batasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini penulis membatasi permasalahan yang ada dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Bangunan eksisting yang ditinjau adalah Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado 13 lantai, dengan fungsi bangunan untuk perkantoran dengan pengambilan data material dan data struktur berdasarkan gambar yang ada.
2. Struktur merupakan gedung beton bertulang.
3. Peraturan yang digunakan untuk menganalisis beban gempa adalah SNI 1726-2012.
4. Prosedur *assessment* kerentanan gedung mengacu pada FEMA 356, dan ATC 40.
5. Level kinerja struktur dievaluasi menggunakan *pushover analysis* dengan bantuan program SAP2000v19.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui level kinerja struktur bangunan gedung tinjauan.
2. Untuk mengetahui target perpindahan sesuai dengan FEMA 356, dan ATC 40.
3. Melakukan studi *assessment* kerentanan struktur bangunan eksisting berdasarkan FEMA 356, dan ATC 40.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui bagaimana menganalisis struktur gedung bertingkat menggunakan metode *pushover analysis*.
2. Menambah pengetahuan sehingga menjadi alternatif dalam perencanaan dan evaluasi struktur gedung bertingkat tahan gempa.

3. Mengetahui bagaimana level kinerja struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado

LANDASAN TEORI

Analisis Beban Dorong Statik (Pushover)

Analisis beban dorong statik (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara barangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk *elasto-plastis* yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan. (Mamesah , 2014)

Analisis *Pushover* menghasilkan kurva *Pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*V*) versus perpindahan titik acuan pada atap (*D*).

Kurva *Pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetilan atau stabilitasnya. (Sudarman, 2014)

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

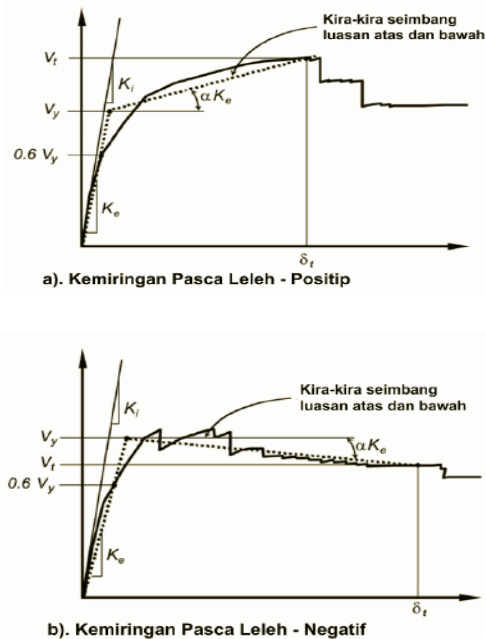
Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot g$$

dimana:

δ_t = target perpindahan

- T_e = waktu getar alami efektif
- C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356
- C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai $C_1 = 1,0$ untuk $T_e \geq T_s$ dan
- $$C_1 = \frac{[1+(R-1)\frac{T_s}{T_e}]}{R} \text{ untuk } T_e < T_s$$
- C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.
- C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif,
- $$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$
- α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif, dimana hubungan gaya-lendutan diidealisasi sebagai kurva bilinear.
- R = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.
- $$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$
- S_a = akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arak yang ditinjau.
- V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear.
- W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.
- C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.
- g = percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/det}^2$.



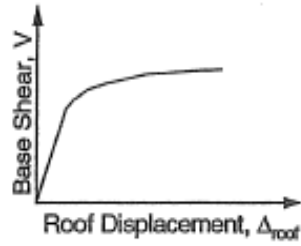
Gambar 1. Perilaku pasca leleh sistem struktur menurut FEMA 356

Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari analisis statik *pushover* nonlinier adalah memberikan pola pembebanan statis tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap. Penambahan beban statis ini dihentikan sampai struktur tersebut mencapai simpangan target atau beban tertentu.

Dalam analisis statik *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini telah *build-in* dalam program SAP 2000 yang akan digunakan. Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut dinamakan kurva kapasitas struktur.

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan *respons inelastic* bangunan. Analisis ini memang bukan cara terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah analisis dan desain, tetapi relatif sederhana untuk mendapatkan respons nonlinier struktur.



Gambar 2. Ilustrasi Kurva Pushover (ATC-40)

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

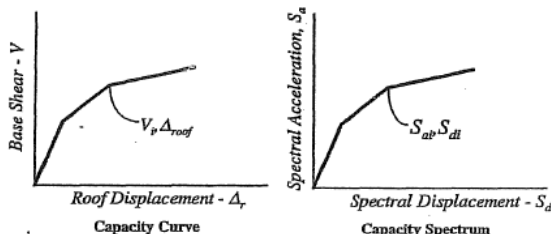
$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\Phi_{roof,1}}$$

$$PF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1}^2)}{g}} \right]$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i\phi_{i1}^2)}{g} \right]}$$

dimana:

- S_a = Spectral acceleration
- S_d = Spectral displacement
- PF1 = modal participation untuk modal pertama
- α₁ = modal mass coefficient untuk modal pertama
- φ_{i1} = amplitude of first untuk level i
- V = gaya geser dasar
- W = berat mati bangunan ditambah beban atap
- Δ_{roof} = roof displacement
- w_i/g = massa pada level i

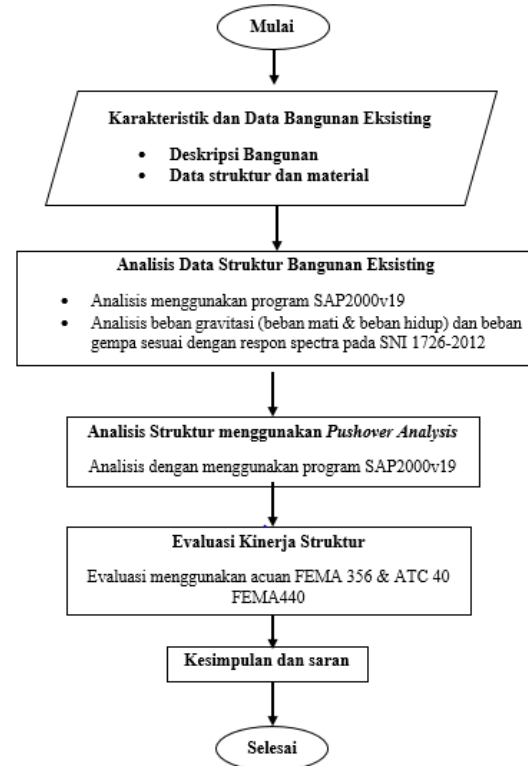


Kurva Kapasitas Spektrum Kapasitas

Gambar 3. Modifikasi Kurva Kapasitas menjadi Spektrum Kapasitas (ATC-40)

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

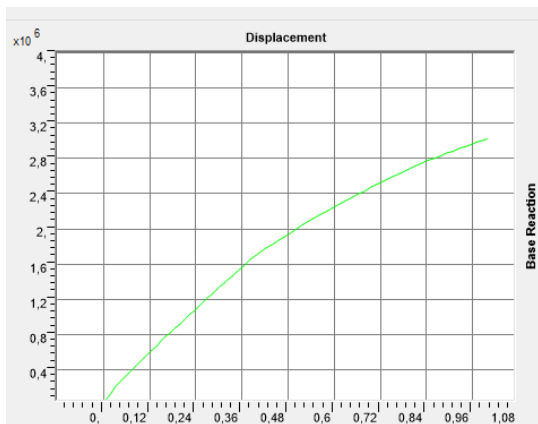
Studi Literatur

Studi literatur dari berbagai jurnal dan buku yang terkait dengan analisis non linier *pushover*. Buku acuan yang dipakai antara lain SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)*, *Federal Emergency Management Agency (FEMA-356)* dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis *pushover*.

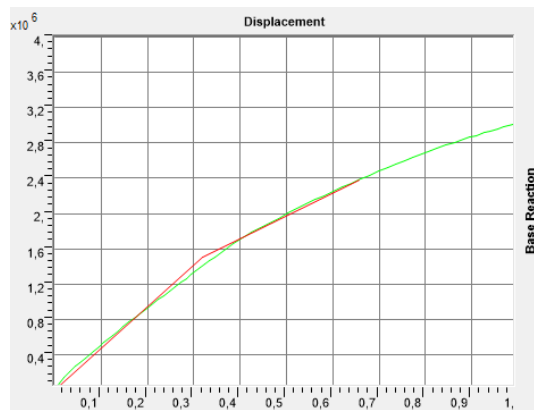
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kurva Kapasitas

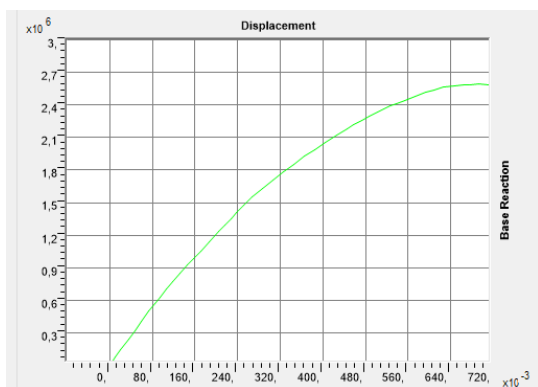
Hasil dari analisis *pushover* dengan menggunakan program SAP2000 merupakan kurva kapasitas hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*). Berikut ini tampilan kurva kapasitas masing-masing arah X dan Y.



Gambar 5. Kurva kapasitas gedung akibat *pushover* arah X pada gedung



Gambar 7. Kurva Kapasitas FEMA-356 arah X



Gambar 6. Kurva kapasitas gedung akibat *pushover* arah Y pada gedung



Gambar 8. Kurva kapasitas FEMA-356 arah Y

Tabel 1. Perpindahan dan gaya geser maksimum arah X

Perpindahan Maksimum (m)	Gaya Geser Dasar Maksimum (kg)
0,998551	3017866,5

Tabel 2. Perpindahan dan gaya geser maksimum arah Y

Perpindahan Maksimum (m)	Gaya Geser Dasar Maksimum (kg)
0,728675	2590323,88

Target Perpindahan FEMA 356

Dari program SAP2000 didapatkan kurva kapasitas berdasarkan FEMA-356 dimana akan dapat dilihat *performance point* bangunan. *Performance point* yang merupakan titik perpotongan antara *bilinear force curve* (garis merah) paling besar dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva kapasitas ditampilkan sebagai berikut:

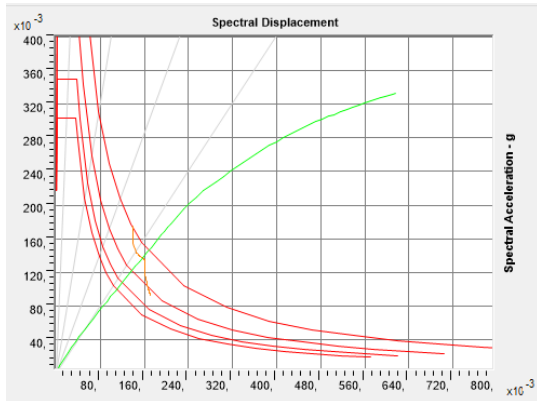
Target perpindahan dengan metode *Coefficient Method* akibat *push* X dan Y ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Target perpindahan dengan FEMA-356

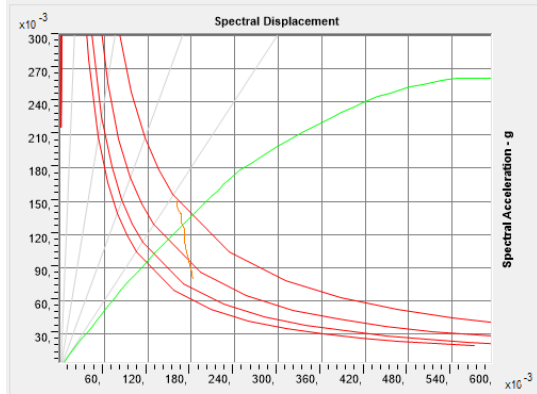
	Arah X	Arah Y
C ₀	1,656628	1,142399
C ₁	1	1
C ₂	1	1
C ₃	1	1
S _a	0,295647	0,301001
T _e	2,329254	2,287818
T _i	1,7864	2,076602
K _i	8014247,13	8147894,61
K _e	4713965,38	6712877,93
Alpha	0,550817	0,545054
R	2,144328	2,647165
V _y	1504894,25	1241113,66
Weight	10915014,75	10915014,75
C _m	1	1
V (kg)	2380280	2190120,7
D, δ(m)	0,656	0,444

Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Dari program SAP2000 juga didapat kurva spektrum kapasitas. Dalam analisis ini hanya meninjau satu arah yaitu arah sumbu x karena bangunan bersifat simetris. *Performance point* didapat dari titik perpotongan antara *demand spectra* (garis biru) dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva spektrum kapasitas ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 9. Kurva kapasitas ATC 40 arah X



Gambar 10. Kurva kapasitas ATC 40 arah Y

Tabel 4. Target perpindahan metode spectrum capacity (ATC-40)

Performance Point	Arah X	Arah Y
V (Kg)	1160008,6	1171428,5
D, δ (m)	0,257	0,19
Sa (g)	0,137	0,129
Sd (m)	0,156	0,168
T _{eff} (det)	2,141	2,293
B _{eff} (%)	0,063	0,062

Evaluasi Level Kinerja Struktur Bangunan Eksisting

Evaluasi kinerja struktur bangunan menggunakan metode-metode berikut dalam mencari besarnya target perpindahan struktur. Target perpindahan dari tiap-tiap metode untuk arah X dan Y yang kemudian dievaluasi untuk menemukan level kinerja struktur bangunan gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado.

Tabel 5. Target perpindahan dan gaya Geser Dasar arah X

Metode	Target Perpindahan	Gaya Geser Dasar
ATC-40	0,257 m	1160008,6 kg
FEMA-356/FEMA-440 DM	0,656 m	2380280 kg
FEMA-440 EL	0,465 m	1901537,7 kg

Dari hasil evaluasi kinerja arah X, dapat dilihat bahwa :

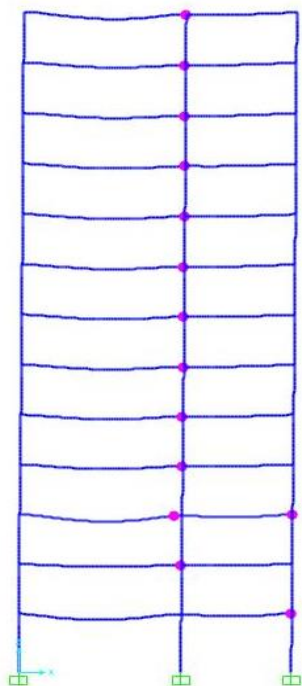
1. Evaluasi kinerja menurut metode FEMA-356/FEMA-440 DM menghasilkan target perpindahan paling besar yaitu 0,656 m dan gaya geser dasar sebesar 2380280 kg.
2. Evaluasi kinerja menurut metode ATC-40 menghasilkan target perpindahan paling kecil yaitu 0,257 m dan gaya geser dasar sebesar 1160008,6 kg.
3. Evaluasi kinerja gedung arah X menurut FEMA-356/FEMA-440 gedung berada pada level kinerja LS (*Life Safety*) yang berarti gedung masih aman untuk dihuni. Struktur kondisi pasca gempa masih termasuk kategori aman untuk tingkat keselamatan.

Mekanisme Sendi Plastis

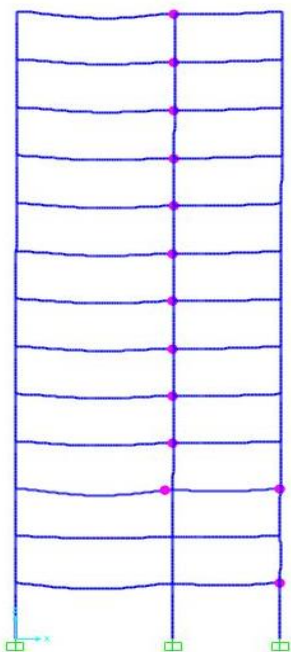
Pada mekanisme sendi plastis ini akan ditampilkan gambar pola distribusi sendi plastis, yang diambil pada portal eksternal yang menjadi model dalam penampilan sendi plastis. Gambar yang ditampilkan yaitu pada berbagai kondisi level kinerja pada arah X dan Y.

Pelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* X pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 10. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,009 m dan gaya geser dasar sebesar 72301,48 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis

yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



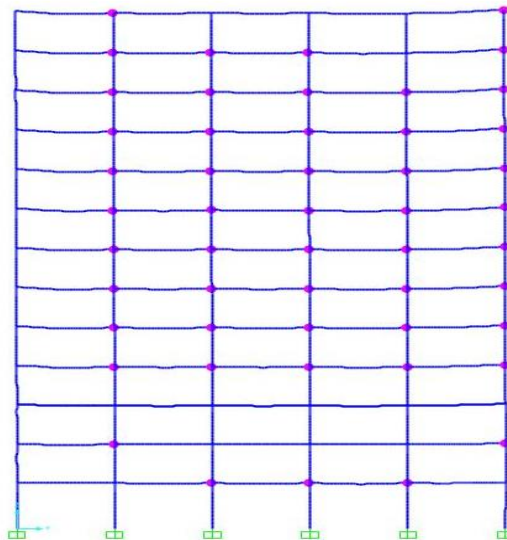
Gambar 11. Distribusi sendi plastis pada portal arah X akibat push X



Gambar 12. Distribusi sendi plastis pada portal arah X akibat push Y

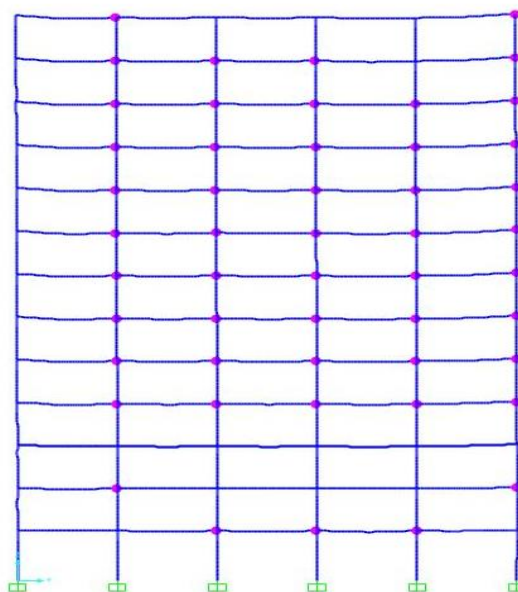
Pelelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* Y pertama kali terjadi pada step ke 1 seperti pada gambar 11. Pada step ke 1

ini, besar perpindahan adalah 0,009 m dan gaya geser dasar sebesar 75422,81 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang ditandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



Gambar 13. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat push X

Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* X pertama kali terjadi pada step ke 1 seperti pada gambar 12. Pada step ke 1 ini, besar perpindahan adalah 0,009 m dan gaya geser dasar sebesar 72301,48 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



Gambar 14. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat push Y

Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* Y pertama kali terjadi pada step ke 1 seperti pada gambar 13. Pada step ke 1 ini, besar perpindahan adalah 0,009 m dan gaya geser dasar sebesar 75422,81 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ugu yang berarti berada pada level B.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan evaluasi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kurva *pushover* arah X dan Y belum mengalami penurunan elastik hingga pada titik tertentu mengalami "*fail*" yang mendadak. Kedua arah tinjauan (arah X dan arah Y) masih mampu dipikul oleh bangunan yang ditandai dengan tidak adanya titik keruntuhan yang terjadi atau pada level >E atau struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.
2. Hasil evaluasi berdasarkan nilai target perpindahan struktur terbesar diperoleh level kinerja struktur berada pada batas antara *Life Safety* (LS) – *Collapse Prevention* (CP), hal ini menunjukkan bahwa komponen struktur telah

mengalami kerusakan, berkurangnya kekakuan, tetapi masih cukup kuat menahan terjadinya keruntuhan, komponen non struktur masih ada tetapi tidak berfungsi, namun dapat digunakan kembali jika sudah dilakukan perbaikan.

3. Konsep desain *strong colum weak beam* telah terpenuhi, hal ini ditunjukkan dengan awal terbentuknya sendi plastis pada elemen balok.

Saran

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran, yaitu:

1. Perlu adanya pemahaman lebih mengenai cara mengoperasikan program SAP2000, teori-teori dasar analisis serta ketepatan dalam memberikan parameter-parameter agar diperoleh hasil analisis yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan perencanaan beban gempa dengan menggunakan *Time history analysis*.
3. Analisis *pushover* sebaiknya dilakukan dengan menggunakan program lain seperti Perform3D.
4. Pemahaman terhadap *Performance based* harus lebih ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- , Applied Technology Council., 1999, ATC – 40 – *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California, USA, DC.
- , Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung* (SNI 1726-2012). Bandung.
- , Federal Emergency Management Agency, 2000, *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings* FEMA – 356, Washinton, DC.
- , Federal Emergency Management Agency, 2004, *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* ATC – 55 Project FEMA – 440, Washington, DC.
- Dewobroto, W. 2005. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurusan Teknik Sipil - Universitas Pelita Harapan. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1. Hal 8-10.
- Pranata, Y. A., 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Januari 2006.

- Sumarwan. 2010. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Tahan Gempa Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software SAP2000*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Sebelas Maret, Surakarta.
- Sudarman., Dapas, S. O., Windah, R. S., 2014. *Analisis Pushover pada Gedung Bertingkat Tipe Podium.*, Jurnal Sipil Statik, Vol. 2, No. 4, April 2014, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Mamesah, H. Y., 2014. Wallah, S. E., Windah, R. S., *Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 2, No. 4, April 2014, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Halaman ini sengaja dikosongkan