

## EVALUASI KINERJA GEDUNG FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS SAM RATULANGI AKIBAT BEBAN GEMPA

Maarij Ravi Saputra

Banu Dwi Handono, Mielke R. I. A. J. Mondoringin

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [ravisaputta@gmail.com](mailto:ravisaputta@gmail.com)

### ABSTRAK

*Level kinerja adalah salah satu faktor utama dalam perencanaan gedung bertingkat yang berfungsi untuk mengetahui batas kekuatan gedung tersebut menerima beban. Batas level kinerja yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, Immediate Occupancy (Penggunaan Sedang), Damage Control (Kontrol Kerusakan), Life Safety (Aman untuk Dihuni), Structural Stability (Stabilitas Struktur). Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan jumlah lantai 13 dengan atap dan tinggi total bangunan 56 m dengan lebar bentang arah X 21 m dan bentang arah Y 40 m. Adapun penelitian ini juga menggunakan Respon Spectrum area Manado, Sulawesi Utara dengan nilai  $S_s = 1,036$  g dan  $S_1 = 0.442$  g.*

*Untuk mencari atau menentukan level kinerja biasanya dilakukan dengan cara analisis pushover, atau analisis beban dorong statik untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa. Analisis Pushover biasanya dihitung dengan menggunakan bermacam program.*

*Dalam penelitian ini analisis Pushover menggunakan program PERFORM 3D untuk mengetahui beberapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan struktur. Analisis pushover (build-in pada program PERFORM 3D dilakukan berdasarkan ATC – 40 (capacity spectrum method) dimana kondisi kerusakan (damage states) dikategorikan dalam berbagai level, dan FEMA – 356 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 level kinerja struktur bangunan tinjauan berada pada batas antara Life Safety (LS), berdasarkan ATC 40 masuk dalam kategori B.*

**Kata Kunci:** *pushover, assessment, level kinerja, PERFORM 3D*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana alam khususnya gempa. Wilayah Indonesia yang berada di jalur ring of fire kawasan Pasifik dan karena letaknya dipertemuan lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, Filipina, dan Indo-Australia. Ring of fire atau cincin api pasifik merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menamai sebuah wilayah yang sering mengalami peristiwa letusan gunung aktif dan terjadinya gempa bumi. Jalur penunjaman lempeng bumi di wilayah Kepulauan Indonesia merupakan jalur penyebab gempa tektonik yang mana bersifat regional dan umumnya kerusakan yang ditimbulkan sangat parah. Jalur gempa tersebut secara geologis berdampingan dengan jalur 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.

Untuk itu diperlukan *assessment* terhadap bangunan yang sudah ada untuk mengetahui tingkat kinerja dan pola keruntuhan suatu bangunan yang dapat dinyatakan secara jelas dalam bentuk kurva.

Dalam perencanaan bangunan sekarang ini sering digunakan perencanaan bangunan berbasis kinerja. Dalam Analisa ini, kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan dalam bentuk kurva. Maka digunakan analisis *pushover* atau analisis beban dorong statik.

Prosedur *pushover analysis* mengikuti metode FEMA 356, FEMA 440 DM dan ATC 40 (*Displacement coefficient method*) (*Displacement Modification*) dan (*Spectrum capacity method*).

### 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*.

### Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu meliputi:

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. Level kinerja struktur dievaluasi menggunakan *pushover analysis* dengan bantuan program PERFORM 3D.
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. Struktur merupakan gedung beton bertulang.

### Tujuan Penelitian

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

### Manfaat Penelitian

1. Mengetahui bagaimana menganalisis struktur gedung bertingkat menggunakan metode *pushover analysis*.
2. Mengetahui bagaimana level kinerja struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado.

## LANDASAN TEORI

### Analisis Beban Dorong Statik (Pushover)

Analisa beban dorong statik atau *static pushover analysis* merupakan cara yang digunakan untuk menganalisa perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Dimana gempa rencana dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya di tingkatkan secara berangsur-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 diambang keruntuhan. (Mamesah dkk, 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. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisis *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi untuk bangunan regular. Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada misalnya hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah statik monotonik. (Sudarman dkk, 2014).

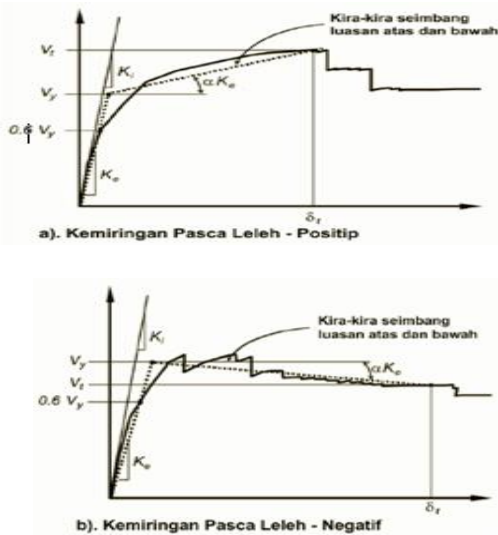
### Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

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 ( $\delta_t$ ),

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

Dimana:

- $\delta_t$  = target perpindahan
- $T_e$  = waktu getar alami efektif
- $C_0$  = koefisien faktor bentuk,
- $C_1$  = faktor modifikasi
- $C_2$  = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching”
- $C_3$  = koefisien pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta.
- $\alpha$  = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif,
- $R$  = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.
- $S_a$  = akselerasi respon spektrum
- $V_y$  = gaya geser dasar pada saat leleh,
- $W$  = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.
- $C_m$  = faktor massa efektif
- $g$  = percepatan gravitasi 9,81 m/det<sup>2</sup>.



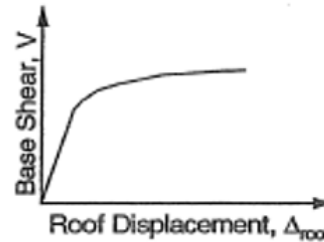
Gambar 1. Perilaku pasca leleh sistem struktur menurut FEMA 356

### 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)

$$S_a = \frac{V}{W \alpha 1}$$

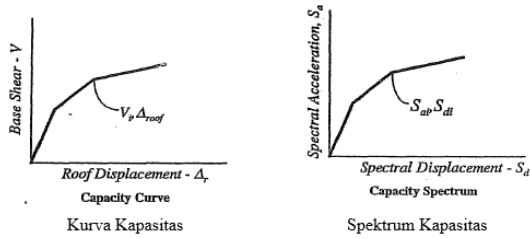
$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1 \Phi_{roof, 1}}$$

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

$$\alpha 1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi^2_{i1})}{g} \right]}$$

Dimana:

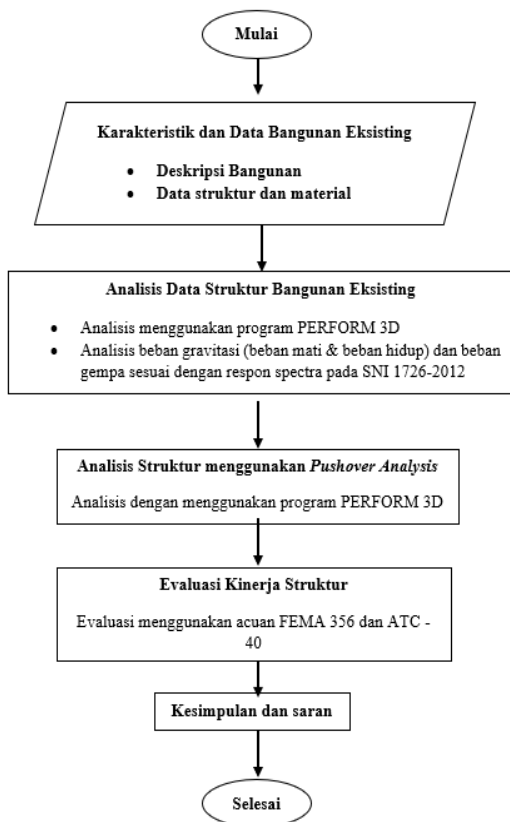
- $S_a$  = Spectral acceleration
- $S_d$  = Spectral displacement
- $PF1$  = modal participation untuk modal pertama
- $\alpha 1$  = modal mass coefficient untuk modal pertama
- $\Phi_{i1}$  = amplitude of first untuk level i
- $V$  = gaya geser dasar
- $W$  = berat mati bangunan ditambah beban atap
- $\Delta_{roof}$  = roof displacement
- $w_i/g$  = massa pada level i



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

## METODOLOGI PENELITIAN

### Kerangka Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

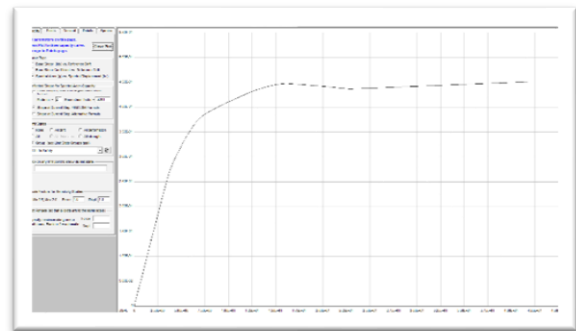
### Studi Literatur

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, Federal Emergency Management Agency (FEMA-356) dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis *pushover*.

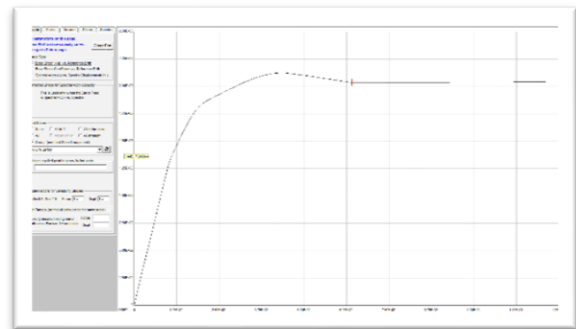
## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Kurva Kapasitas

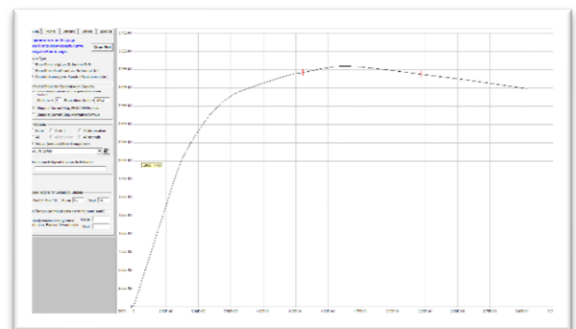
Hasil dari analisis *pushover* dengan menggunakan program PERFORM 3D merupakan kurva kapasitas hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*). Berikut ini tampilan kurva kapasitas masing-masing arah X dan Y hasil dari analisa *pushover* pada program PERFORM 3D :



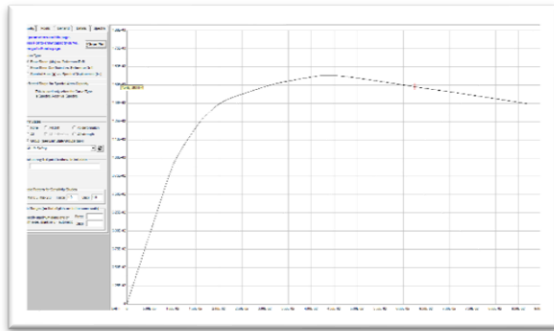
Gambar 5. Kurva Displacement dan drift arah X pada Gedung



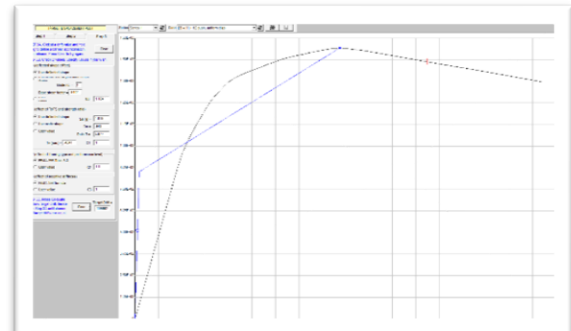
Gambar 6. Kurva base shear dan drift arah X pada Gedung



Gambar 7. Kurva Displacement dan drift arah Y pada Gedung



Gambar 8. Kurva Base Shear dan Drift arah Y pada Gedung



Gambar 10. Kurva Target Displacement FEMA-356 arah Y

Tabel 1. Perpindahan dan Gaya Geser maksimum arah X

Perpindahan Maksimum	Gaya Geser Dasar Maksimum
16,08 (in)	2133 (kip)
0.408432 (m)	967512,52521 (kg)

Tabel 2. Perpindahan dan Gaya Geser Maksimum arah Y

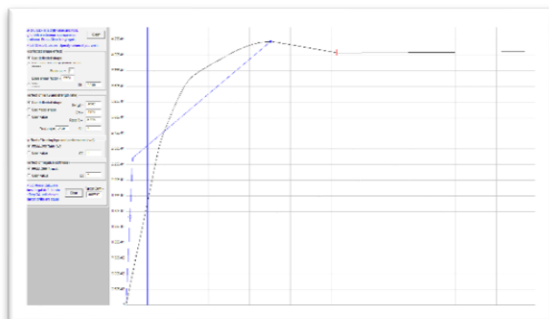
Perpindahan Maksimum	Gaya Geser Dasar Maksimum
15,38 (in)	1571 (kip)
0.390652 (m)	712593,61327 (kg)

Tabel 3. Hasil Target Perpindahan dengan Coefficient Method FEMA-356

	Arah X	Arah Y
C <sub>0</sub>	1,186	1,184
C <sub>1</sub>	1	1
C <sub>2</sub>	1	1
C <sub>3</sub>	1	1
S <sub>a</sub>	1,03	1,018
T <sub>e</sub>	0,4293	0,4241
R	4,266	5,677
C <sub>m</sub>	1	1
D <sub>t</sub>	0,005609	0,005662

### Target Perpindahan

Dari program PERFORM 3D didapatkan kurva target perpindahan berdasarkan FEMA-356 dimana akan dapat dilihat *performance point* bangunan. *Performance point* yang merupakan titik perpotongan antara *bilinear force curve* (garis biru) paling besar dengan *capacity curve* (garis hitam). Kurva target perpindahan ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 9. Kurva Target Displacement FEMA-356 arah X

### Level Kinerja

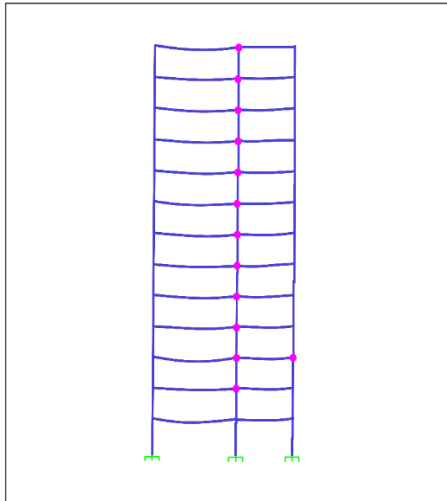
Tabel 4. Batas deformasi bangunan gedung

Interstory Drift Limit (Batas Simpangan Antar Lantai)	Batas Deformasi				Hasil	
	Immerdate Occupancy	Damage Control	Life safety	Structural Stability	Arah X	Arah Y
Maximum Total Drift (Simpangan Total Maksimum)	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 V <sub>i</sub> / P <sub>a</sub>	0,005609	0,005662
Maximum Inelastic Drift (Simpangan Nonelastik maksimum)	0,005	0,005- 0,015	No Limit	No Limit	(Damage Control)	(Damage Control)

### Mekanisme Sendi Plastis

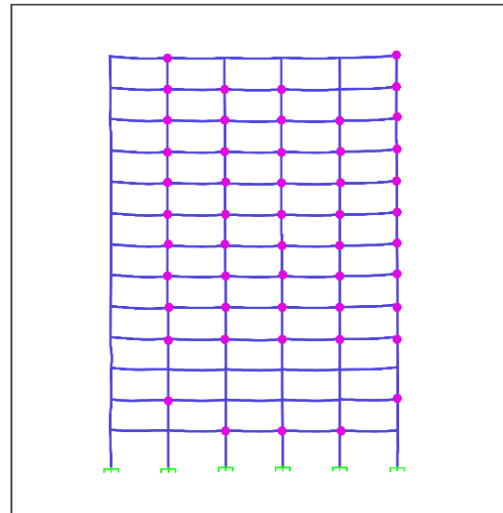
Pada mekanisme sendi plastis ini akan tampilan gambar pola distribusi sendi plastis, yang diambil pada portal eksternal yang menjadi model dalam penampilan sendi plastis. Gambar yang ditampilkan yaitu pada berbagai kondisi level kinerja pada arah X dan Y.

Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* X pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 11. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah sebesar 0,006 m dan gaya geser dasar sebesar 54732,32 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



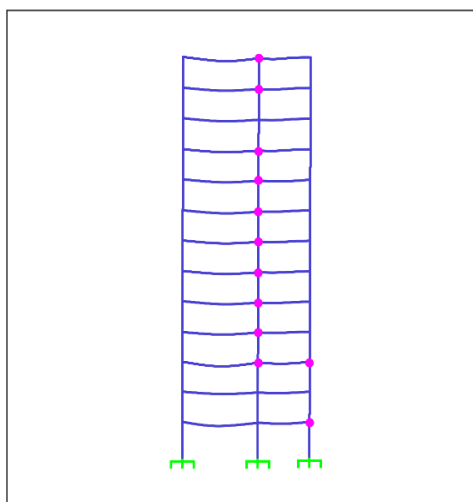
Gambar 11. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat Push X

Pelelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* X pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 13. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah 0,006 m dan gaya geser dasar sebesar 54732,32 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



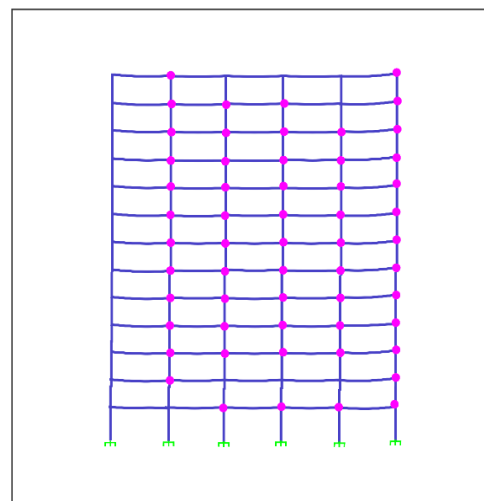
Gambar 13. Distribusi sendi plastis pada portal arah X akibat Push X

Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* Y pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 12. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah 0,005 m dan gaya geser dasar sebesar 50235,85 kg. Terlihat pada gambar terjadi sendi plastis yang di tandai dengan titik pada elemen balok. Ungu yang berarti berada pada level B.



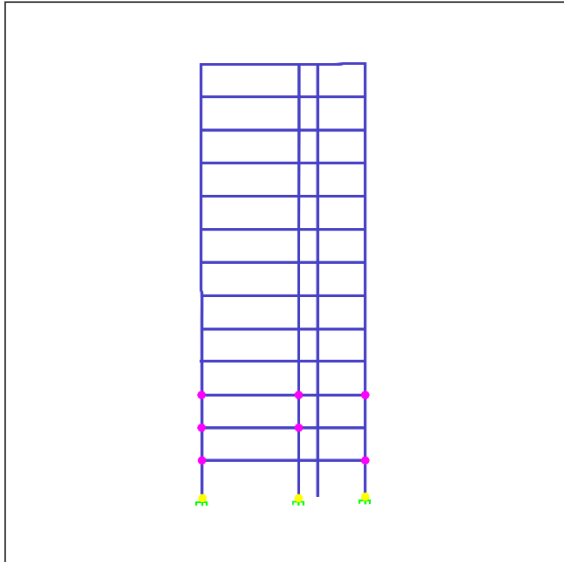
Gambar 12. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat Push Y

Pelelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* Y pertama kali terjadi pada *step* ke 1 seperti pada gambar 14. Pada *step* ke 1 ini, besar perpindahan adalah 0,005 m dan gaya geser dasar sebesar 50235,85 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 X akibat Push Y

Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* X yang terjadi pada step ke 50 seperti pada gambar 15. Pada step ke 50 ini, besar perpindahan adalah 0.408432 m dan gaya geser dasar sebesar 967512,52521 kg.



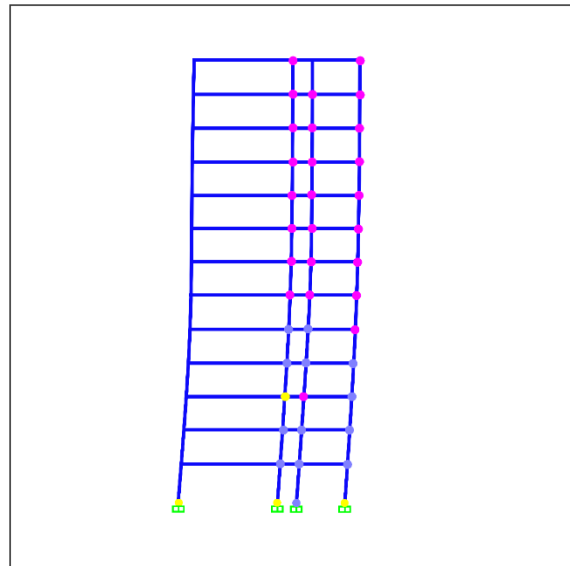
Gambar 15. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat Push X (max)

Pada tingkat bagian atas bangunan terdapat titik berwarna ungu atau pada level B dan pada tingkat tengah dan bawah gedung terdapat titik berwarna biru atau level C dan pada level LS. Warna kuning merupakan batas maksimum gaya geser yang mampu ditahan gedung yang terdapat pada dasar bangunan.

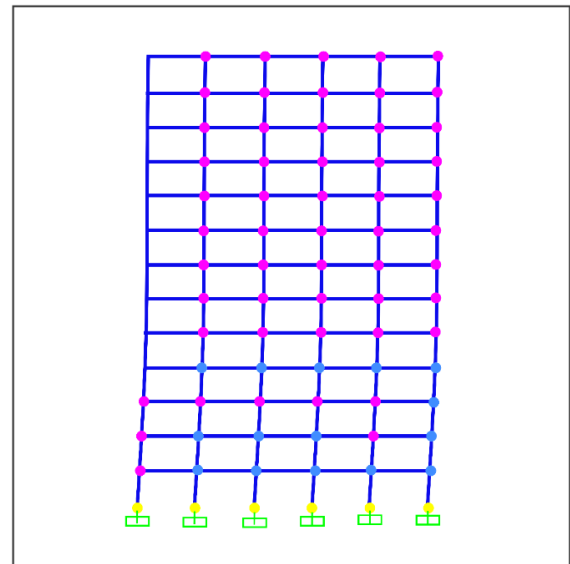
Pelelehan sendi plastis pada portal Y akibat *push* Y yang terjadi pada step ke 45 seperti pada gambar 16. Pada step ke 45 ini, besar perpindahan adalah 0.390652 m dan gaya geser dasar sebesar 712593,61327 kg.

Pada tingkat bagian bawah bangunan terdapat titik berwarna ungu atau pada level B dan terdapat titik berwarna biru atau pada level LS. Warna kuning merupakan batas maksimum gaya geser yang mampu ditahan gedung yang terdapat pada dasar bangunan.

Pelelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* X yang terjadi pada step ke 50 seperti pada gambar 17. Pada step ke 50 ini, besar perpindahan adalah 0.408432 m dan gaya geser dasar sebesar 967512,52521 kg.



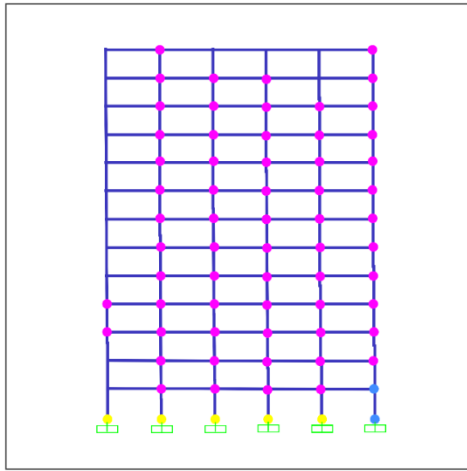
Gambar 16. Distribusi sendi plastis pada portal arah Y akibat Push Y (max)



Gambar 17. Distribusi sendi plastis pada portal arah X akibat Push X (max)

Pada tingkat bagian bawah bangunan terdapat titik berwarna ungu atau pada level B dan terdapat titik berwarna biru atau pada level LS. Warna kuning merupakan batas maksimum gaya geser yang mampu ditahan gedung yang terdapat pada dasar bangunan.

Pelelehan sendi plastis pada portal X akibat *push* Y yang terjadi pada step ke 45 seperti pada gambar 18. Pada step ke 45 ini, besar perpindahan adalah 0.390652 m dan gaya geser dasar sebesar 712593,61327 kg.



Gambar 18. Distribusi sendi plastis pada portal arah X akibat Push Y (max)

Pada tingkat bagian bawah bangunan terdapat titik berwarna ungu atau pada level B dan terdapat titik berwarna biru atau pada level LS. Warna kuning merupakan batas maksimum gaya geser yang mampu ditahan gedung yang terdapat pada dasar bangunan.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil analisis dan evaluasi, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode koefisien Perpindahan FEMA – 356 menunjukkan bahwa bangunan tersebut berada pada level *Life Safety* (LS), 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.
2. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Spektrum Kapasitas ATC – 40 menunjukkan bangunan tersebut berada pada level *Damage Control* dimana kondisi Gedung belum mengalami kerusakan berarti dan dapat difungsikan kembali.
3. Target Perpindahan yang terjadi pada arah X yaitu 0.408432 m dengan gaya geser maksimum 967512,52521 kg, sedangkan pada arah Y yaitu 0.390652 m dengan gaya geser maksimum 712593,61327 kg.

### Saran

1. Perlu adanya pemahaman lebih mengenai cara mengoperasikan program PERFORM 3D, 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*.

## 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 Proceuders ATC – 55 Project FEMA – 440, Washington, DC.
- Sudarman., Dapas, S.O. and Windah, R.S., 2014. *Analisis Pushover pada Gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 2, No. 4, April 2014 Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S.E., and Windah, R. S., 2014. *Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 2, No. 4, April 2014. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.