

## ANALISIS KINERJA STRUKTUR ATAS BANGUNAN RTMC POLDA MALUKU MENGUNAKAN METODE *STATIC NON-LINEAR*

Leviona Markus<sup>1)</sup>, Pieter Lourens Frans<sup>2)</sup>, Vector R R Hutubessy<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon

<sup>1)</sup> markusviona23@gmail.com, <sup>2)</sup>pflourens@gmail.com, <sup>3)</sup>vectorreinhard@gmail.com

### ABSTRACT

Ambon City is one of the cities in Moluccas which is also one of the earthquake-prone areas which is classified in earthquake zone 5. Several structural elements of the Moluccas Police RTMC building in the realization of fieldwork were not by the planning results. The research aimed to produce displacement values and obtain the performance of the structural of the Maluku Regional Police RTMC building against earthquake forces after being analyzed by non-linear static analysis with the help of SAP2000 v.22. Research shows that the movement between floors is still safe because it does not exceed the drift limit of 30 mm where the largest displacement in the x direction occurs due to a dynamic earthquake (DX) on the roof floor, about 10.443 mm, and the largest displacement in the y direction occurs due to loads due to dynamic earthquakes (DY) on the roof floor about 28.514 mm. The performance evaluation for the XZ direction is still in a safe condition because the plastic hinge distribution scheme does not show structural members that pass the immediate occupancy (IO), and happen strong column weak beams occur if the loading step is enlarged, this is indicated by the absence of column elements that achieve IO performance. The performance of the YZ direction is still in a safe condition because the plastic hinge distribution scheme does not show that the structural members pass the IO performance and happen strong column weak beams occur when the loading step is increased.

### ABSTRAK

Kota Ambon merupakan salah satu kota di Maluku yang juga merupakan salah satu daerah rawan gempa yang dimana tergolong dalam zona gempa 5. Beberapa struktur atas bangunan RTMC Polda Maluku pada realisasi pekerjaan dilapangan tidak sesuai hasil perencanaan. Tujuan penelitian yaitu untuk menghasilkan nilai *displacement* dan memperoleh kinerja struktur atas bangunan RTMC Polda Maluku terhadap gaya gempa setelah dianalisis dengan analisis *static non-linear* dengan bantuan SAP2000 v.22. Penelitian menunjukkan perpindahan antar lantai masih aman dikarenakan tidak melewati batas izin 30 mm dimana *displacement* terbesar arah-x terjadi akibat gempa dinamik (DX) pada lantai atap yaitu sebesar 10,443 mm, kemudian perpindahan terbesar untuk arah-y terjadi akibat beban akibat gempa dinamik (DY) pada lantai atap yaitu sebesar 28,514 mm. Evaluasi kinerja untuk arah XZ masih dalam keadaan aman dikarenakan pada skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati Immediate Occupancy (IO), dan terjadi *strong column weak beam* apabila diperbesar step pembebanan, hal ini ditandai dengan tidak ada elemen kolom yang mencapai kinerja IO. Kinerja komponen struktur arah YZ masih dalam keadaan aman dikarenakan pada skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati kinerja IO dan terjadi *strong column weak beam* apabila diperbesar step pembebanan.

**Kata kunci :** *Displacement, Static-Non-Linier, Kinerja*

### 1. PENDAHULUAN

Kota Ambon merupakan salah satu kota di Maluku yang juga merupakan salah satu daerah rawan gempa yang dimana tergolong dalam zona gempa 5. Agar dapat meminimalisir resiko bencana yang terjadi diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa. Bangunan harus direncanakan agar dapat memberikan kinerja minimal *life safety*,

dimana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan tetapi tidak mengalami keruntuhan, dengan begitu kemungkinan timbulnya korban jiwa dapat diminimalisasi. Kinerja suatu struktur dapat dianalisis menggunakan analisis statik non-linier (*pushover*).

Analisis non-linear digunakan para peneliti untuk memprediksi kemampuan struktur bangunan berdeformasi pasca-elastik yang secara berulang

kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, meskipun berada dalam kondisi imenuju keruntuhan. Hasil yang dapat ditinjau dari analisis non-linear ini adalah besarnya *displacement* kemudian dapat ditinjau kinerja struktur bangunan tersebut.

Gedung *Regional Traffic Management Centre* (RTMC) Polda Maluku didesain dengan 3 lantai Mengingat semakin tinggi suatu bangunan semakin tinggi pula resiko bangunan tersebut akan runtuh akibat beban gempa. Apalagi dalam pelaksanaan ada beberapa elemen struktur yang tidak sesuai hasil perencanaan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Umum

Kinerja struktur merupakan tingkatan performa suatu struktur terhadap gaya lateral. Kinerja struktur dapat ditentukan oleh deformasi/ *displacement* struktur di bawah gaya gempa yang ditentukan oleh maksimum perpindahan struktur yang dapat diterima dengan besaran gempa yang ditinjau.

#### 2.1.1 Penelitian Kinerja Struktur menggunakan Metode *Static Non-Linear*

- **Latifah, dkk (2019)**, dalam penelitiannya menunjukkan kondisi gedung aman saat terjadi gempa dimana tingkat kinerja termasuk dalam kategori *IO*.
- **Masril (2019)**, dalam penelitiannya menunjukkan kondisi gedung berdasarkan kriteria kinerja struktur ATC-40 masuk dalam kategori *IO*.

#### 2.1.2 Perencanaan Pembebanan

##### 1. Beban mati (*dead load*)

Sesuai SNI 1727-2020 Pasal 3.1.1 beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan system pengangkut material.

##### 2. Beban hidup (*live load*)

Sesuai SNI 1727-2020 Pasal 4.3.1 Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak

boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam SNI 1727-2020 Tabel 4.3-1

### 3. Beban igempa (*earthquake iload*)

#### a. Kategori risiko istruktur ibangunan i(I-IV)

Kategori irisiko struktur ibangunan dapat ditentukan idengan menggunakan iacuan SNI 1726-2019 ipasal 4.1.2.

#### b. Faktor ikeutamaan gempa ( $I_e$ )

I Faktor ikeutamaan  $iI_e$  idapat ditentukan dengan imenggunakan iacuan SNI i1726-2019 pasal 4.1.2

#### c. Jenis itanah isetempat

Klasifikasi isitus imenurut jenis itanah idapat ditentukan idengan menggunakan acuan iSNI 1726-2019 iPasal 5.3.

#### d. Parameter ipercepatan igempa i( $S_s, iS_1$ )

Parameter  $iS_s$  i(percepatan ibatuan idasar ipada iperioda ipendek) idan  $S_1$  i(percepatan ibatuan idasar ipada iperioda  $i1$  idetik) idapat ditentukan dengan imenggunakan iacuan iSNI i1726-2019 iPasal i6.1.2

#### e. Koefisien-koefisien isitus idan iparameter-parameter respons spektral percepatan gempa imaksimum iyang idiperhitungkan risiko-tertarget (MCEr).

Koefisien-koefisien isitus idan iparameter-parameter respons ispektral percepatan igempa imaksimum yang idiperhitungkan irisiko-tertarget (MCEr) idapat ditentukan idengan imenggunakan iacuan iSNI 1726-2019 iPasal i6.2 i

#### f. Parameter ipercepatan ispektral idesain i( $S_{DS}, iS_{DI}$ )

Parameter irespons ispektral ipercepatan desain ipada iperioda ipendek ( $S_{DS}$ ) idan irespons ispektral ipercepatan idesain ipada iperioda  $i1$  idetik ( $S_{DI}$ ) idapat iditentukan idengan imenggunakan acuan iSNI i1726-2019 iPasal i6.3

#### g. Spektrum irespons idesain

Respons ispektrum idesain idapat iditentukan dengan menggunakan iacuan iSNI i1726-2019 Pasal i6.4. i

#### h. Kategori idesain iseismik (A-D)

Semua struktur ilainnya iharus ditetapkan kategori desain iseismik-nya berdasarkan ikategori risikonya dan parameter respons ispektral percepatan desainnya,  $iS_{DS}$  idan  $iS_{DI}$ , iSesuai SNI 1726 i- 2019 Pasal 6.3.

#### i. Pemilihan isistem istruktur idan iparameter sistem i( $R, iC_d, i\Omega_0$ )

SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 menentukan 8 jenis sistem struktur dasar yang ditetapkan dalam peraturan perencanaan gempa Indonesia.

**j. Batasan ifundamental istruktur (T)**

Perioda ifundamental istruktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dari tabel 17 SNI 1726-2019 dan ifundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1 persamaan 136.

**k. Prosedur gaya gempa pada struktur bangunan**

**1) Gempa statik ekuivalen (EQ)**

Analisis statik ekuivalen merupakan penyederhanaan dari perhitungan beban gempa sebenarnya. Ketentuan analisis beban gempa dengan metode statik ekuivalen yang mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020 sebagai berikut:

**Perhitungan beban gravitasi**

- Beban mati

Acuan untuk pembebanan beban mati pada bangunan gedung di Indonesia adalah Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 1727-2020.

- Beban hidup

Acuan untuk pembebanan beban hidup pada bangunan gedung di Indonesia adalah Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 1727-2020.

**2) Gempa dinamik respons spektrum (RSP)**

Ketentuan analisis beban gempa dengan metode respon spektrum sebagai berikut:

a) Kurva respons spektrum

b) Data kasus respons spektrum (*load case data response spectrum*)

- Redaman struktur beton (*damping*)

Mengacu pada SNI 1726-2002 Pasal 7.3.2

- *Modal combination*

Mengacu pada SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.3., Sesuai dengan SNI 1726. Maka dipakai SNI 1726-2002 Pasal 7.2.2 sebagai berikut :

❖ CQC (*Complete Quadratic Combination*)

Jika struktur gedung memiliki waktu getar alami yang berdekatan atau selisih nilainya kurang dari 15%.

❖ SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*)

Jika struktur gedung memiliki waktu getar alami yang berjauhan.

- *Scale factor*

Faktor skala gempa arah  $X = (G \times I_e) / R$   
 Faktor skala gempa arah  $Y = 30\% \times$  faktor skala arah  $X$

Keterangan :

$G$  = gravitasi (9,81 m/s)

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

$R$  = koefisien modifikasi respons

Pada SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1 mengenai skala gaya, peraturan ini mengisyaratkan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_d$ ) kurang dari 100 % dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V_s/V_d$ , dimana.

$$V_{dinamik} > V_{statik}$$

c) Data kasus modal (*load case data – modal*)

Analisis modal (*modal analysis*) dipakai untuk menentukan ragam vibrasi struktur (*vibration modes*), yang berguna untuk memahami perilaku struktur. Jumlah ragam vibrasi (*mode*) yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metoda ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total (*mass participation ratio*) harus mencapai sekurang-kurangnya 90% ditinjau dari SNI 1726-2019, pasal 7.9.1.1.

d) **Simpangan Struktur**

- **Penentuan simpangan struktur ( $\Delta$ )**

Simpangan antar lantai dapat ditentukan dengan menggunakan acuan SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6

- **Batasan simpangan struktur ( $\Delta_u$ )**

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti ditentukan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_u$ ).

e) **Evaluasi Kinerja Struktur dengan Analisa Statik Non-liner**

- **Gambaran umum Analisa Statik Non-liner**

Menurut SNI 03-1726-2002, pasal 3.1.1.2 analisa Statik Non-liner/*pushover* adalah suatu cara analisa statik dua dimensi atau tiga dimensi linier dan non-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur 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 pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

- **Kurva Kapasitas**  
Hasil analisis statis pushover nonlinier adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar ( $V_{base}$ ) dan simpangan teratas ( $displacement$ ). Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva yang dinamakan kurva kapasitas struktur

- **Target perpindahan**  
Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap "perpindahan tertentu" di titik kontrol yang disebut sebagai "target perpindahan" dengan notasi  $\delta_t$  dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

- **Metode koefisien perpindahan (FEMA356)**  
Metode ini dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif,  $T_e$ , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linear dari sistem SDOF ekuivalen.

- **Sendi plastis**  
Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam.

- **Level kinerja struktur**  
Target level kinerja struktur gedung mengacu pada FEMA356 (2000) pasal 1.5.1, Tabel C 1-2, halaman 1-13.

**3. METODOLOGI**

**3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan pada gedung RTMC Polda Maluku, Kota Ambon, yang terletak di kawasan markas Polda Maluku, Jl. Sultan Hasanudin, Pandan Kasturi, Kec. Sirimau, Kota Ambon, Maluku.

**3.2 Jenis Data**

Data pendukung yang diperoleh berupa data sekunder yaitu data as built drawing dan data N-SPT

**3.3 Teknik Pengumpulan Data**

- a) Studi Pustaka
- b) Observasi

**3.4 Metode Analisis**

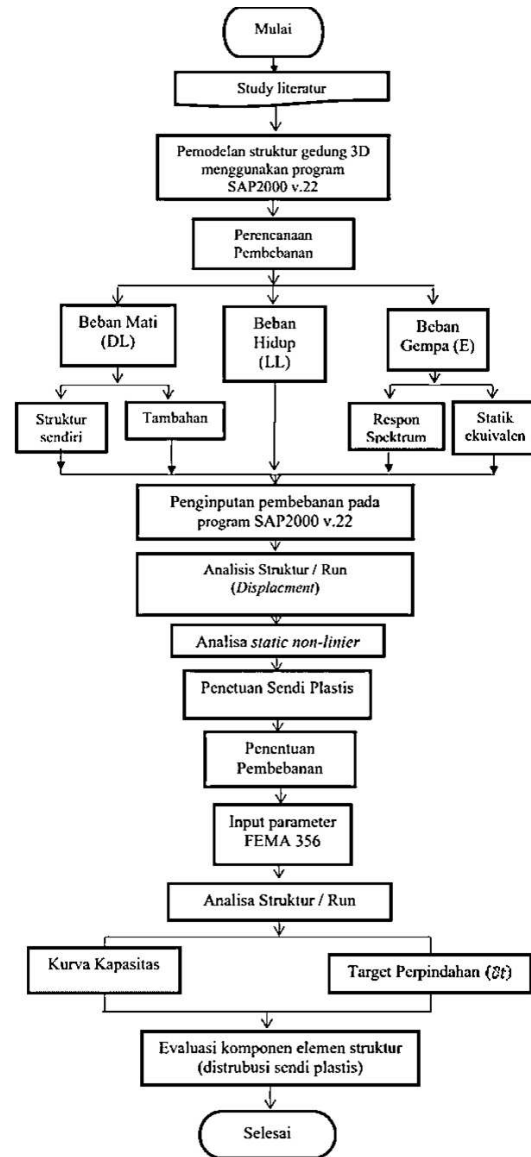
Adapun metode analisis yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Studi Literatur
- b) Pengumpulan data struktur Gedung
- c) Pemodelan struktur gedung
- d) Analisis pembebanan struktur gedung

- e) *Static non-linier*
  - Penentuan sendi plastis
  - Membuat Non-linier case

**3.5 Diagram Alir Penelitian**

Alur penelitian secara rinci dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian (Sumber : Penulis, 2023)**

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Displacement

4.1.1 Analisis Pembebanan Struktur atas bangunan

a) Beban Gravitasi

Rekapitulasi beban gravitasi dapat dilihat dalam Tabel 1 untuk beban mati tambahan dan bebah hidup yang diinput pada pemodelan 3D pada program SAP2000 v.22.

Tabel 1. Rekapitulasi Beban Gravitasi

No	Label	Beban Mati Tambahan	Beban Berat Sendiri Struktur	Beban Hidup
1	Dinding Hebel	4,20693 kN/m	Otomatis program	-
	Dinding Kaca	1,482 kN/m		
2	Atap	0,12 kN/m <sup>2</sup>		0,96 kN/m <sup>2</sup>
3	Tangga	1,30594kN/m <sup>2</sup>		4,79 kN/m <sup>2</sup>
4	Pelat lantai 2 s/d3	2.03594 kN/m <sup>2</sup>		2,4kN/m <sup>2</sup> ,6k N/m <sup>2</sup>
	Pelat lantai atap	1.171299kN/m <sup>2</sup>	2,4k N/m <sup>2</sup>	

Sumber : Penulis,2023

b) Beban gempa

❖ Klarifikasi Tanah Dasar

Untuk kelas situs tanah dianalisis dengan data N-SPT hasil borlog yang diperoleh dari narasumber dan diolah untuk mendapatkan nilai N-SPT rata-rata seperti pada Tabel 2. untuk mengklasifikasikan jenis tanah.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Menggunakan Data N-SPT

No	Kedalaman	T(m)	N-SPT	N=T/N
1	0-3	3	16	0.1875
2	3-5	2	60	0.03333
3	5-7	2	55	0.03636
4	7-9	2	60	0.03333

5	9-11	2	60	0.03333
<b>Jumlah</b>		<b>11</b>		<b>0.32386</b>

Sumber : Penulis,2023

$$N = \sum Ti / \sum (Ti/Ni)$$

$$= 11 / 0.323864$$

$$= 33.96491$$

Nilai N-SPT rata – rata data korelasi tersebut bernilai 15 – 50. Sehingga klarifikasi kelas situs tanah yang digunakan adalah **tanah sedang (SD)**.

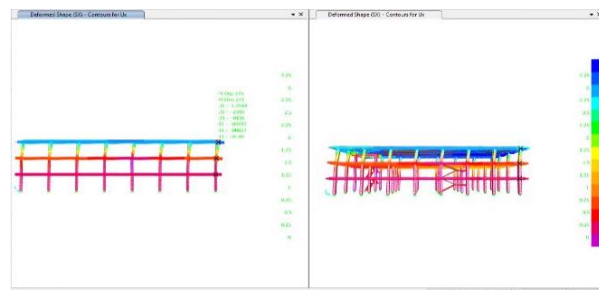
❖ Data Gempa

Data gempa hanya menampilkan rekapitulasi hasil dari pencarian data, baik dari SNI 1726–2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Hasil rekapitulasi dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3 Rekapitulasi Data Gempa

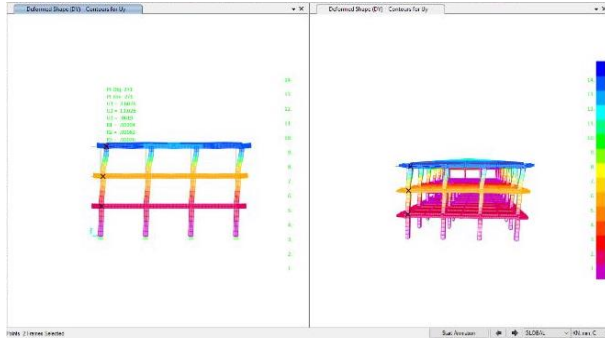
No	Label	Data
1	Nilai TL	8
2	Nilai Ss	1,5
3	Nilai S1	0,6
4	Nilai Sds	1,0
5	Nilai Sd1	0,68
6	Nilai Ta	0,4639

Untuk penentuan kategori desain seismic tergolong pada kategori desain seismic D dan sesuai dengan SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.2 maka faktor redundansi yaitu 1,3. Maka simpangan izin, yaitu 0,010 x 3900 /1,3 sebesar 30 mm. sebagai gambaran diambil simpangan gedung pada akibat dari beban statik ekuivalen arah x (SX) untuk tampilan ZX, sedangkan untuk arah y akan ditampilkan ZY akibat beban dinamik respon spektrum (DY), sebagai gambaran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Untuk hasil perpindahan sendiri akan di paparkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 sebagai berikut.



Gambar 2. Simpangan Gedung Akibat SX Arah XZ

(Sumber : Penulis,2023)



Gambar 3. Simpangan Gedung Akibat DY Arah YZ  
(Sumber : Penulis,2023)

Tabel 4. Simpangan Gedung Akibat Gempa SX Dan SY arah XZ dan YZ

Lantai	Height (mm)	Perpindahan		Perpindahan elastic		story drift		Drift Limit (mm)	Cek
		$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\delta_{ey}$	$\Delta x$	$\Delta y$		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
Atap	3900	2.794765	10.63964	2.213	5.605	8.113	20.551	30	OK
3	3900	0.582097	5.034706	0.466	3.614	1.707	13.251	30	OK
2	3900	0.116533	1.420883	0.117	1.421	0.427	5.210	30	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	0	OK

Sumber : Penulis,2023

Keterangan :

$$\delta_{ex} = \delta x \text{ atap} - \delta x 3$$

$$\Delta x = \delta_{ex} * Cd / I_e$$

$$\delta_{ey} = \delta y \text{ atap} - \delta y 3$$

$$\Delta y = \delta_{ey} * Cd / I_e$$

Perpindahan antar lantai akibat beban statik ekuivalen memperlihatkan perpindahan terbesar terjadi pada lantai atap arah y dengan perpindahan yang terjadi yaitu 20,551 mm. perpindahan tersebut masih dikatakan aman dikarenakan perpindahan yang terjadi tidak melewati *Drift Limit*.

Tabel 5. Simpangan Gedung Akibat Gempa DX Dan DY Arah XZ Dan YZ

Lantai	Height (mm)	Perpindahan		Perpindahan elastic		story drift		Drift Limit (mm)	Cek
		$\Delta x$	$\delta_y$	$\Delta x$	$\delta_{ey}$	$\Delta x$	$\Delta y$		
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
Atap	3900	3.490537	13.028	2.848	7.777	10.443	28.514	30	OK
3	3900	0.642328	5.251399	0.134	3.434	0.490	12.591	30	OK
2	3900	0.508579	1.817505	0.509	1.818	1.865	6.664	30	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	0	OK

Sumber : Penulis,2023

Keterangan :

$$\delta_{ex} = \delta x \text{ atap} - \delta x 3$$

$$\Delta x = \delta_{ex} * Cd / I_e$$

$$\delta_{ey} = \delta y \text{ atap} - \delta y 3$$

$$\Delta y = \delta_{ey} * Cd / I_e$$

Perpindahan antar lantai akibat beban dinamik respon spektrum memperlihatkan perpindahan terbesar terjadi pada lantai atap arah y dengan perpindahan yang terjadi yaitu 28,514 mm. perpindahan tersebut masih dikatakan aman dikarenakan perpindahan yang terjadi tidak melewati simpangan izin (*Drift Limit*).

#### 4.2 Kinerja Struktur Atas Menggunakan Metode Static Non-Linier

Kurva kapasitas (*capacity curve*) merupakan kurva hubungan antara perpindahan lateral lantai teratas/lantai atap (*displacement*) dengan gaya geser dasar (*base shear*) sebagai hasil dari *pushover* yang disajikan pada Tabel 6 yaitu untuk arah X sedangkan arah Y pada Tabel 7, Kemudian untuk kurva perbandingan untuk arah-X, dan arah-Y berdasarkan hasil *pushover* pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.

Tabel 6. *Pushover curve demand - FEMA356 - PUSH-X*

Step	Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0	0
1	11.751521	28851.042
2	23.451521	57769.761
3	27.990328	69000.289
4	40.091056	98682.25
5	52.97149	128699.218
6	65.205181	155773.274
7	72.580334	171569.598

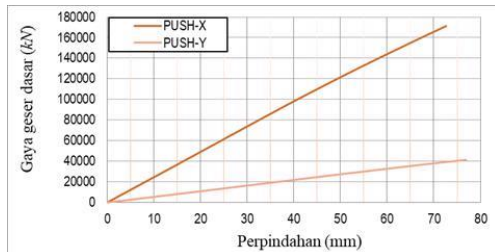
Sumber : Penulis,2023

Dari kurva kapasitas yang dihasilkan untuk *PUSH-X*, diperoleh bahwa analisis *pushover* berhenti dilangkah (step) 7, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol mencapai 62,03% dari target *displacement* maksimum 0,01H yang diharapkan tercapai yaitu 72.580334 mm dan gaya geser dasar sebesar 171569.598 kN.

Tabel 7. *Pushover curve demand - FEMA356 - PUSH-Y*

Step	Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0	0
1	11.883861	6393.777
2	23.583861	12788.157
3	35.283861	19183.988
4	46.983861	25581.357
5	48.752464	26548.226
6	65.759459	35603.123
7	76.976409	41168.721

Dari kurva kapasitas yang dihasilkan untuk *PUSH-Y*, diperoleh bahwa analisis *pushover* berhenti dilangkah (*step*) 7, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol mencapai 65.79% dari target *displacement* maksimum 0,01H yang diharapkan tercapai yaitu 76,976409 mm dan gaya geser dasar sebesar 41168.721 kN.

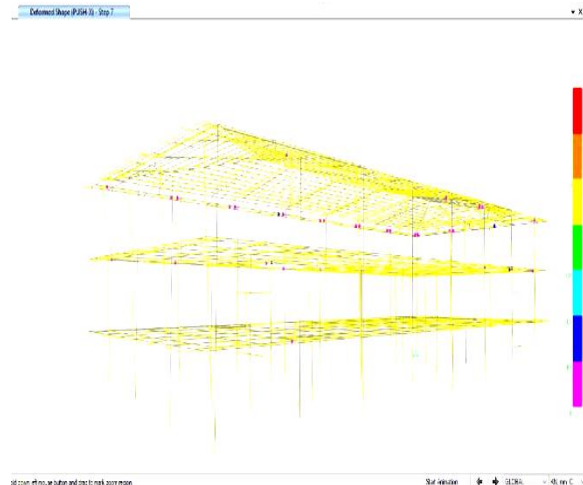


**Gambar 4. Perbandingan *pushover curve demand* antara *PUSH-X* dan *PUSH-Y* (Sumber : Penulis,2023)**

Dari Gambar 4 diatas tampak bahwa perpindahan titik kontrol akibat pembebanan lateral *PUSH-Y* atau arah Y (arah lebar dari pemodelan gedung) lebih besar dibandingkan dengan akibat pembebanan lateral *PUSH-X* atau arah X seiring dengan naiknya gaya geser dasar.

**1) Sendi plastis arah X**

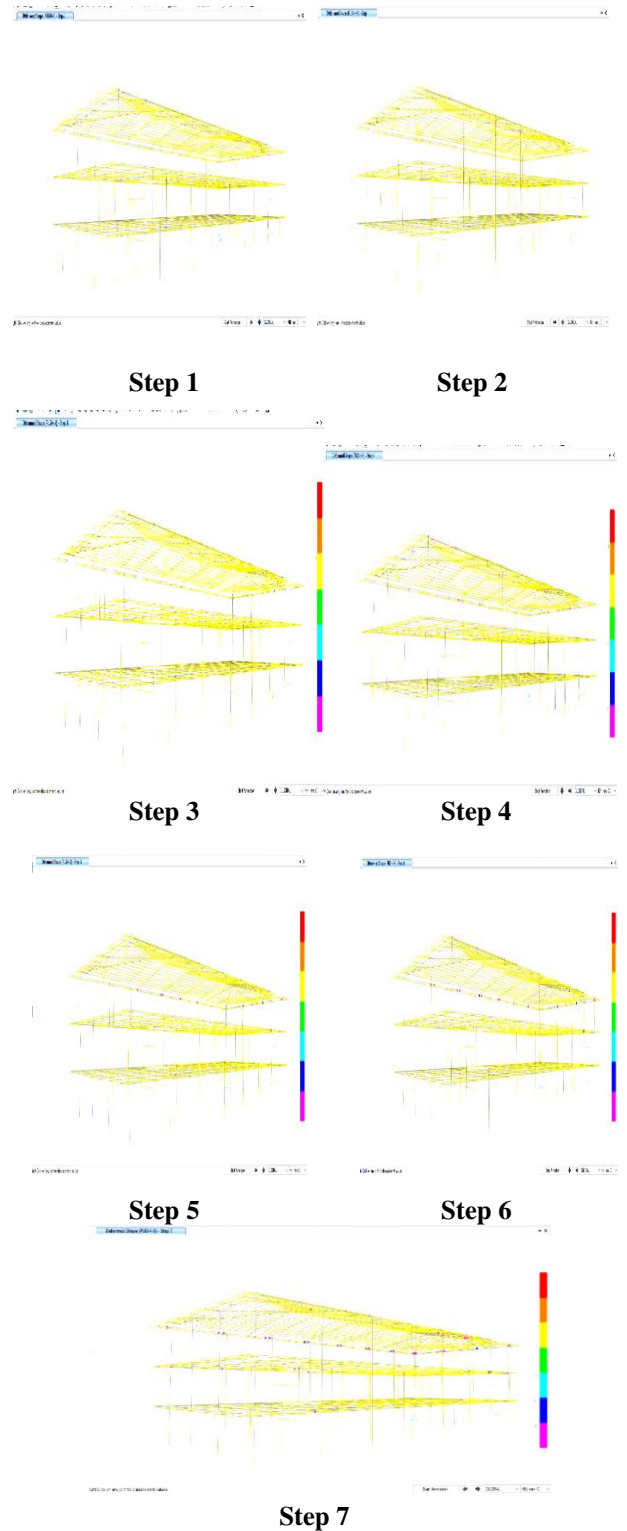
Berikut akan ditampilkan gambar sendi plastis yang bekerja pada arah x setelah mendapatkan gaya push melalui metode analisis static non-linier, sebagai berikut.



**Gambar 5 Distribusi sendi plastis pada step-7 untuk *Push-X* (Sumber : Penulis,2023)**

Distribusi sendi plastis arah XZ pada tiap tahapan peningkatan beban lateral hingga titik kinerja tercapai

yang terjadi pada komponen struktur ditampilkan pada gambar berikut ini.

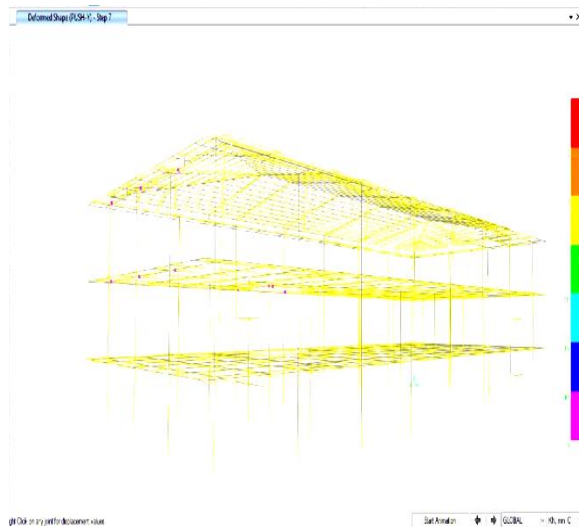


**Gambar 6. Mekanisme Distribusi Sendi Plastis arah xz (Sumber : Penulis,2023)**

Target perpindahan ( $\delta_t$ ) struktur untuk pembebanan arah-XZ gedung adalah 4,62 mm berada diantara step-0 dan step-1, sehingga evaluasi komponen struktur dilakukan pada step-2 s/d step-7. Distribusi sendi plastis yang terjadi pada step-2 s/d step-7 memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupany* (IO) sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman. dan terjadi kolom kuat-balok lemah, dikarenakan elemen kolom tidak mengalami sendi plastis sebelum elemen balok dan tidak ada elemen kolom yang melewati kinerja IO.

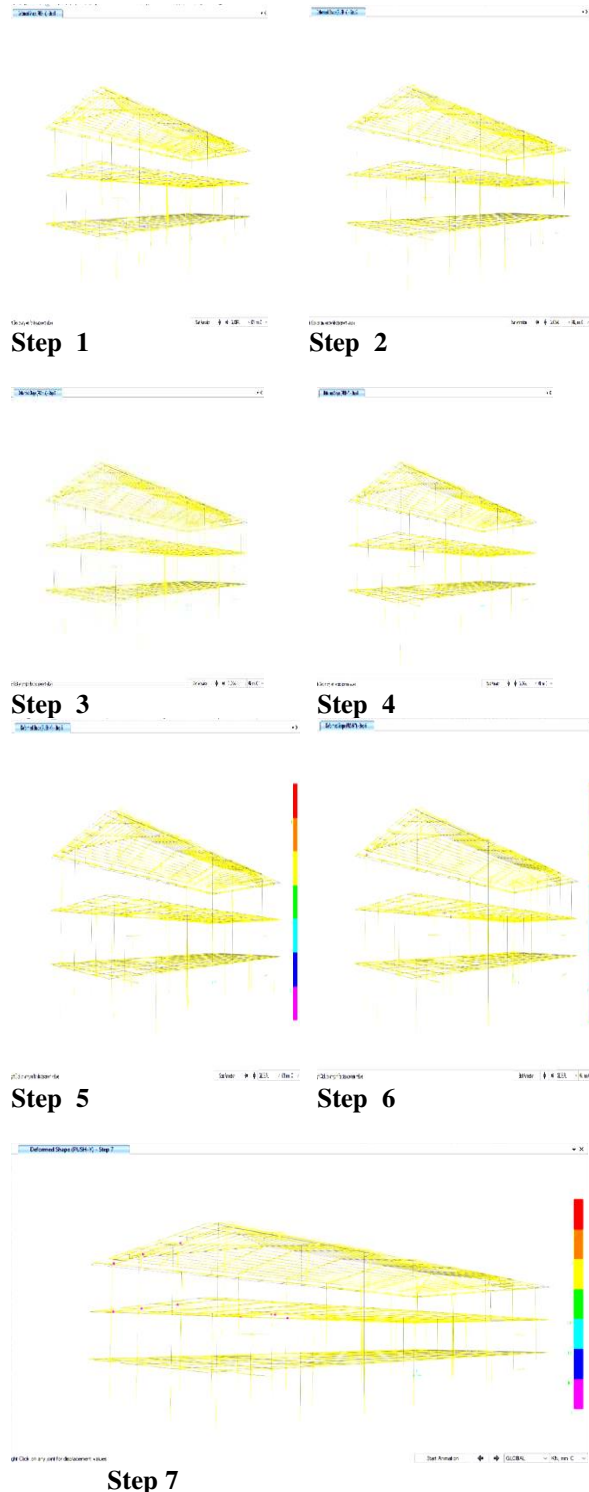
2) Sendi plastis arah Y

Berikut akan ditampilkan gambar sendi plastis yang bekerja pada arah x setelah mendapatkan gaya push melalui metode analisis static non-linier, sebagai berikut.



Gambar 7. Distribusi Sendi Plastis Step-7 Push-Y (Sumber : Penulis, 2023)

Distribusi sendi plastis arah YZ pada tiap tahapan peningkatan beban lateral hingga titik kinerja tercapai yang terjadi pada komponen struktur ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Mekanisme distribusi Sendi Plastis arah YZ (Sumber : Penulis, 2023)

Target perpindahan ( $\delta_t$ ) struktur untuk pembebanan arah-YZ gedung adalah 25,339 mm berada Diantara step-2 dan step-3 sehingga evaluasi komponen struktur dilakukan pada step-3 s/d step-7. Distribusi

sendi plastis yang terjadi pada step-3 s/d step-7 memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupancy* (IO) sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman.

Dan terjadi kolom kuat-balok lemah, dikarenakan elemen kolom tidak mengalami sendi plastis sebelum elemen balok dan tidak ada elemen kolom yang melewati kinerja IO.

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Nilai *Displacement* Antar Lantai akibat beban gempa statik ekuivalen dan gempa dinamik respon spektrum arah X dan Y masih dikatakan aman dikarenakan tidak melewati simpangan izin yaitu 30 mm, Evaluasi kinerja struktur untuk struktur atas bangunan RTMC Polda Maluku pada arah XZ masih dalam keadaan aman walaupun  $\delta_{max} > \delta_t$ , karena pada skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati *Immediate Occupancy* (IO). Arah YZ masih dalam keadaan aman walaupun  $\delta_{max} > \delta_t$ , dan skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Dimana bangunan masih aman untuk kegiatan operasional setelah gempa terjadi dengan tingkat kerusakan menyeluruh masih dalam kategori ringan/ kerusakan minor.

### 5.2 Saran

Analisis *pushover* perlu dicoba dengan menggunakan referensi ATC-40 untuk membandingkan dengan FEMA 356. Hasil evaluasi kinerja gempa struktur metode distribusi *static* dapat dibandingkan dengan metode analisis respon riwayat waktu. Analisis *pushover* perlu dicoba pada gedung-gedung tinggi lainnya untuk mendalami perilaku seismik gedung bertingkat banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. (2016). *Analisis kinerja seismik struktur beton dengan Metode pushover menggunakan program SAP2000 V. 14*. Jurnal sipil Universitas Mataram, Mataram. 2016.
- Ansyah, R.D., dan Buwono, H.K. (2016), "Perilaku bangunan struktur baja terhadap beban gempa menggunakan data tanah dari hasil uji CPT, Jurnal Konstruksia, 7(2)
- Batara, I. (2021, Juni). *E-book Contoh Desain Struktur Bangunan Dengan SAP2000*. Mamuju, Sulawesi tengah.2021.
- Dewobroto,W. (2015, November). *Peraturan Baja Terkini SNI 1729: 2015 dan Direct Analysis Method*. Materi Seminar HASTAG VI: Seminar Nasional, Shourt Couse dan Expo Material Bangunan. Medan: USU Press. 2015.
- Fauzan, S.A., dan Erizal, dan Sapei, A., (2018), "Evaluasi ketahanan gempa pada struktur gedung x di jakarta berdasarkan SNI 03-1726-2012", JSIL jurnal teknik sipil dan lingkungan, 03(01)
- Frans, P. L., & Matitaputty, J. R. (2020). *Perilaku Defleksi Balok Beton Tulangan Sistem Rangka Dengan Jarak Spasi Seperempat Tinggi Efektif Balok*. Jurnal Simetrik, 10(2), 322-327.
- Hutubessy, V. R. (2022). *Evaluasi Kinerja Stuktur Gedung BPJS Kesehatan Cabang Ambon Terhadap Gempa Dengan Metode Pushover*. Journal Agregate, 1(1), 108-122.
- Irwandi,D., & Rohman, F. (2020). *Analisis Perencanaan Gedung Kampus 1 Unswagati Dengan Menggunakan Konstruksi Baja Sni 1729-2015*. Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur. 2020.
- Latifah,A. A.(2019) *article Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Menggunakan Metode Statik Nonlinier Pushover (Studi Kasus: Hotel Grand Padis Bondowoso*. Jurnal Sipil Digital Reporsitory : Universitas Jember. 2019.
- Mangoda, N. Z., Sultan, M. A., & Imran, I. (2019). *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Metode Pushover (Studi Kasus Bangunan Gedung di Ternate)*. Jurnal Sipil Sains, 9(17). 2019.
- Masril,(2019). *Analisis Struktur Atas Empat Lantai Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP2000 Studi Kasus : Gedung Kantor Bersama Kabupaten Sijunjung*. Jurnal Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Sumatera Barat. 2019.
- PPURG, (1983). *Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: BSN. 1989.
- Realdy,M. G., & Nuraini, R. (2019). *Evaluasi kinerja struktur Bangunan gedung Bertingkat menggunakan Pushover analysis dengan Metode FEMA 356 dan FEMA 440*. Jurnal Sipil (Doctoral dissertation, University Technology Yogyakarta).
- Sahusilawane, T., & Frans, P. L. (2022). *Perilaku Defleksi Balok Beton Tulangan Sistem Rangka Dengan Jarak Spasi Seperdua Tinggi Efektif Balok*. Jurnal Simetrik, 12(1), 520-525.
- Siswanto,S., & Prijasambada, P. (2023). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat*

- Menggunakan Metode Pushover*. jurnal teknik sipil IKRAITH-Teknologi. 2023.
- SNI, 1727. (2020). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: BSN. 2020.
- SNI, 1726. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: BSN. 2019
- SNI, 3, 1726. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung*. Jakarta: BSN. 2002.
- SNI, 2847. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: BSN. 2019.
- Soselisa, J. F., Frans, P. L., & Hutubessy, V. R. (2022). *Tinjauan Perhitungan Struktur Atas Pada Gedung Auditorium Iain Kota Ambon Dengan Metode Kekuatan Batas*. Journal Agregate, 1(1), 58-64.
- Soumokit, M. D. (2022). *Tinjauan Struktur Atas (Kolom Dan Balok) Pembangunan Gedung Gereja Lahairoi Hative Besar*. Journal Agregate, 1(1), 98-107.
- Syahira, S.M. (2023). *Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan Atc-40*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 2023
- Ward, Wamsley, G., Schroeder, A., & Robins, D. B. (2000). *Network organizational development in the public sector: A case study of the federal emergency management administration (FEMA)*. Journal of the American Society for Information Science, 51(11), 1018-1032.
- Yuristia, D. (2017). *Analisis Perilaku Struktur Bangunan Terhadap Beban Gempa Pada Bangunan Soft Second Story Dengan Variasi Ketinggian Kolom*. Menara article. (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta). Menara Jurnal Teknik Sipil Vol 13 No 2 (2018)