



Evaluasi Kinerja Struktur Tahan Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis* Pada Gedung RS. Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah - Kediri

Abdul kholil¹, Titin Sundari², Meriana Wahyu Nugroho³, Rahma Ramadhani⁴

¹²³⁴Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasyim Asy'ari

Email : kholilabdul310@gmail.com¹, tari273@yahoo.co.id², rian.sipilunhasy@gmail.com³, rahmaunhasy@gmail.com⁴

Alamat: Jl. Irian Jaya 55 Tebuireng Tromol Pos IX Jombang Jatim

Telp. (0321) 861719 (Hunting), 864206, 851396, 874685 Fax.874684

Korespondensi penulis: kholilabdul310@gmail.com

Abstract. Indonesia is a country that is vulnerable to natural disasters, one of which is an earthquake. Because Indonesia is at the meeting point of the 3 most important major plates in the world, one of the effects of the earthquake is damage to building structures. Structural planning is needed for buildings with earthquake resistance from the many occurrences of earthquakes seen in recent times and the losses incurred. Pushover analysis is a non-linear static analysis. The static load captured at the center of mass of each floor is taken into account in this pushover analysis as the effect of the design earthquake on the building structure, the aim of which is to find out how the building structure will collapse during an earthquake so that you can know which parts of the structure are in critical condition and what to do if they do not meet the requirements. The results of the analysis show that the maximum base shear force for the x direction capacity curve is 484.6749 tons with a displacement of 0.095228 m occurring in the 6th step, while the y direction of the maximum base shear force is 555.339 tons and displacement of 0.152807 m occurs in the 14th step. The performance point value is also obtained from the analysis pushover in the x direction with $V_t = 475.025$ tons and $D = 0.087$ m yield $S_a = 0.205$ g and $S_d = 0.072$ m, while for the y direction with $V_t = 499.168$ tons and $D = 0.086$ m yield $S_a = 0.225$ g and $S_d = 0.067$ m. Then at the level of building performance in the x and y direction parameters Maximum Total Drift Ratio included in the category Immediate Occupancy (IO), it can be concluded that the building did not suffer significant damage, the building is safe when an earthquake occurs, the risk of loss of life and structural failure is not too significant and can be used again immediately.

Keywords : Earthquake; Pushover analysis; Structure performance

Abstrak. Negara Indonesia ialah negara yang rentan terhadap bencana alam salah satunya bencana alam gempa bumi. Karena Indonesia berada di titik pertemuan 3 lempeng utama terpenting di dunia, salah satu dampak gempa bumi tersebut yaitu kerusakan pada struktur bangunan. Dari banyaknya kejadian gempa bumi terlihat dalam beberapa waktu terakhir dan juga kerugian yang ditimbulkan, jadi dibutuhkan perencanaan struktur pada bangunan yang memiliki ketahanan gempa (Setiawan, 2016). Pushover analysis merupakan analisis statik non-linier. Beban statis yang ditangkap dipusat massa tiap lantai diperhitungkan dalam analisis pushover ini sebagai efek gempa rencana pada struktur bangunan, yang tujuannya untuk mengetahui bagaimana struktur bangunan akan runtuh saat terjadi gempa sehingga dapat mengetahui bagian struktur mana yang dalam kondisi kritis dan apa yang harus dilakukan jika tidak memenuhi persyaratan (Pranata, Y, 2006). Hasil analisis menunjukkan besar gaya geser dasar maksimum untuk kurva kapasitas arah x sebesar 484.6749 ton dengan displacement sebesar 0.095228 m terjadi pada step ke-6, sedangkan arah y gaya geser dasar maksimum sebesar 555.339 ton dan displacement sebesar 0.152807 m terjadi pada step ke-14. Diperoleh juga nilai titik kinerja dari analisis pushover pada arah x dengan $V_t = 475.025$ ton dan $D = 0.087$ m menghasilkan $S_a = 0.205$ g dan $S_d = 0.072$ m, sedangkan untuk arah y dengan $V_t = 499.168$ ton dan $D = 0.086$ m menghasilkan $S_a = 0.225$ g dan $S_d = 0.067$ m. Kemudian pada level kinerja gedung pada arah x dan arah y parameter Maximum Total Drift Ratio termasuk dalam kategori Immediate Occupancy (IO), dapat disimpulkan

bahwa gedung tidak mengalami kerusakan berarti, bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti dan bisa segera digunakan kembali.

Kata Kunci: Gempa bumi; *Pushover analysis*; Kinerja struktur

LATAR BELAKANG

Bencana alam adalah peristiwa yang bisa terjadi kapan dan dimana saja, pada saat yang tidak terduga salah satunya gempa bumi. Negara Indonesia berada di titik pertemuan 3 lempeng utama terpenting di dunia (Setiawan, 2016). Selain itu, negara ini berada di *Circum Pasific Earthquake Belt* (Jalur Gempa Pasifik) dan *Trans Asiatis Earthquake Belt* (Jalur Gempa Asia) akibatnya, ada kemungkinan besar gempa bumi terjadi, Maka dari itu, negara ini tergolong dalam jalur *ring of fire*, yang mengacu pada wilayah yang sering dilanda bencana alam (Studi et al., 2019).

Rumah sakit Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah - Kediri merupakan gedung 4 lantai yang berfungsi sebagai pelayanan sarana kesehatan kepada masyarakat. suatu struktur bangunan yang semakin tinggi, maka semakin rentan juga gaya gempa yang akan terjadi karena disebabkan struktur bangunan tersebut. Oleh sebab itu, perencanaan pada gedung bertingkat tahan terhadap gempa adalah hal yang sangat penting dan harus dikerjakan (R. Bambang Kusuma Prihadi et al., 2020).

Dalam penelitian ini menggunakan metode analisis *Pushover*. Analisis *Pushover* yaitu suatu analisa statik non-liner yang tujuannya untuk mengetahui bagaimana struktur bangunan akan runtuh saat terjadi gempa sehingga dapat mengetahui bagian struktur mana yang dalam kondisi kritis dan apa yang harus dilakukan jika tidak memenuhi persyaratan. Dalam analisis statik non-liner akan diperoleh adalah *capacity curve*, yang menggambarkan kedua hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (*displacement*) dengan gaya geser yang disebabkan oleh beban gempa lateral pada struktur bangunan yang diberikan dengan pola pembebangan tertentu (Studi et al., 2019).

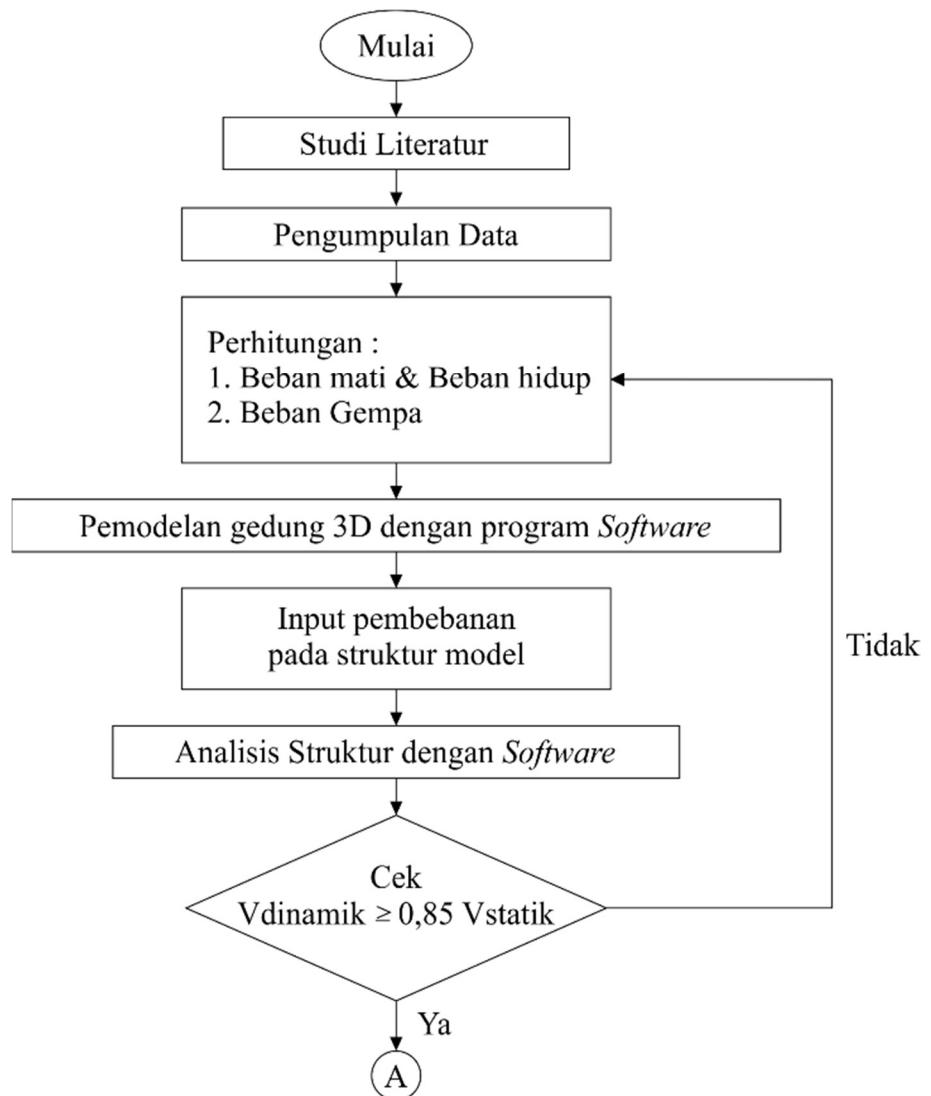
Kemudian dari data-data yang diperoleh dipetakan menjadi suatu *capacity curve* (kurva kapasitas) pada struktur bangunan, sehingga pushover analysis dapat mendemonstrasikan perilaku struktur bangunan dalam kondisi elatis, plastis dan akan terbentuk pola keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya (Studi et al., 2019).

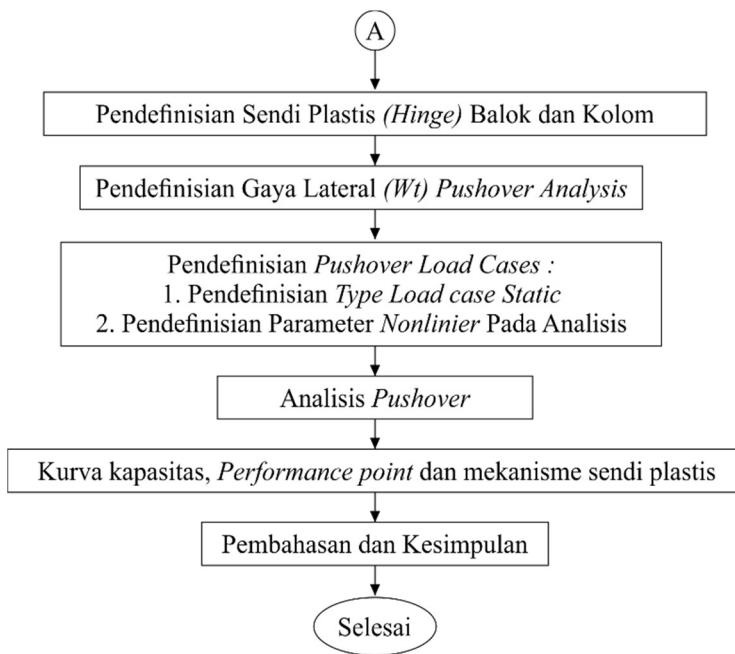
METODE PENELITIAN

Gedung Rumah Sakit Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah – Kediri sebagai objek penelitian ini. yang berlokasi di Jl. Raya Kediri - Pare No.95, Sukorejo, Kec. Gurah, Kabupaten

Kediri, Jawa Timur 64181. Gedung tersebut memiliki tinggi 4 lantai. Dari lantai dasar hingga atap, bangunan ini tingginya 16 meter. Dalam penelitian yang dilakukan data yang diperlukan yaitu *As Built Drawing* dan data tanah yang di dapat dari Rumah Sakit Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah – Kediri.

Metode yang diperlukan dalam penelitian ini menggunakan metode analisis *pushover* yang tujuannya untuk memastikan bagaimana struktur bangunan tahan gempa dapat dievaluasi. Memberikan gambaran beban statis lateral pada suatu struktur yang secara bertahap meningkat dengan faktor pengali hingga titik referensi penutupan tujuan, biasanya pusat massa atap, tercapai adalah salah satu cara untuk melakukan analisis ini. (Dewobroto, 2005).





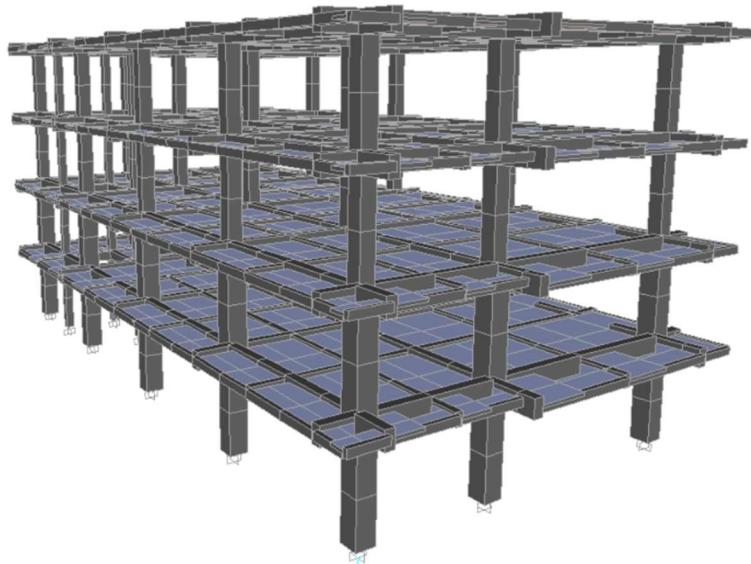
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemodelan Struktur

Data yang diperlukan antara lain :

- a. Lokasi Bangunan : Gurah, Kediri
- b. Fungsi Gedung : Rumah Sakit
- c. Jenis Struktur : Beton Bertulang
- d. Jenis Tanah : Tanah Lunak
- e. Spesifik Material
 - Mutu Beton : 25 MPa
 - Mutu Tulangan Pokok : 55 MPa
 - Mutu Tulangan Geser : 37 Mpa



Gambar 1. Pemodelan Struktur
Sumber : Program komputer

2. Pembebanan Struktur

Dalam pembebanan Struktur terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang setiap bebanya didistribusikan untuk bangunan utama (SNI, 2020).

3. Analisis Beban Gempa Repon Spektrum

Dalam analisis ini diinput data-data gempa yang diperoleh dari perhitungan manual menurut SNI 1726-2019 (Website, 2019). Dan kemudian bisa di *running*.

4. Partisipasi Massa

Setelah *running analysis* kemudian di cek partisi massa. Dapat dilihat bahwa *mass participating ratio* harus memenuhi syarat sesuai SNI 1726 – 2019 dengan minimal 90% dari *massa actual* dari respon yang ditinjau oleh model. Tingkat partisipasi massa untuk arah x dan arah y pada mode – 6 berada diatas 90%

Tabel 1. *Mass Participating Ratio*

Mode	<i>Mass participating ratio</i>	
	SumUX	SumUY
1	0.53	0.11
2	0.68	0.73

3	0.78	0.78
4	0.87	0.79
5	0.89	0.9
6	0.91	0.91
7	0.91	0.91
8	0.91	0.91
9	0.91	0.91
10	0.91	0.91
11	0.91	0.91
12	0.91	0.91
13	0.91	0.91
14	0.91	0.91
15	0.91	0.91

Sumber : Program komputer

5. Cek syarat V dinamik $\geq 0.85 V$ statik

Tabel 2. Nilai V Dinamik Struktur

<i>Output</i>	<i>GlobalFX</i>	<i>GlobalFY</i>
Text	Ton	Ton
DX	1883.9821	743.8431
DY	719.6142	1938.3804

Sumber : Program komputer

a Arah x (DX)

$$\begin{aligned} V \text{ dinamik } x &= 1883.9821 \\ 0.85 \times V \text{ Statik} &= 0.85 \times 1154.39 \\ &= 981.2315 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$V \text{ dinamik } \geq 0.85 V \text{ Statik}$$

$$1855.4379 > 981.2315 - \mathbf{OK}$$

b Arah y (DY)

$$\begin{aligned} V \text{ dinamik } y &= 1938.3804 \\ 0.85 \times V \text{ Statik} &= 0.85 \times 1154.39 \\ &= 981.2315 \end{aligned}$$

Cek syarat

$$V \text{ dinamik } \geq 0.85 V \text{ Statik}$$

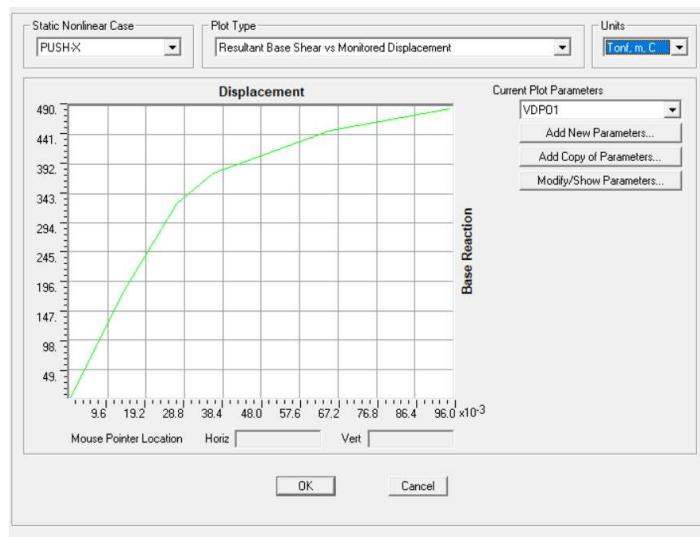
$$1961.9133 > 981.2315 - \mathbf{OK}$$

6. Hasil *Pushover Analysis*

Setelah cek syarat kemudian input data untuk *pushover analysis* di antaranya pendefinisi sendi plastis, pendefinisi gaya lateral *pushover analysis*, pendefinisi *pushover load cases*, kemudian *running pushover analysis* dan di dapat hasil sebagai berikut.

a. Kurva Kapasitas

Berikut nilai-nilai dari *displacement* dan *base force* PUSX dan PUSY.



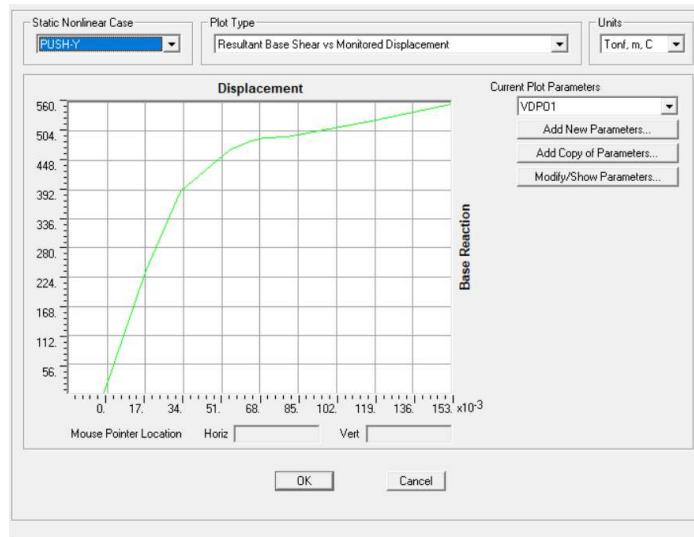
Gambar 2. Kurva Kapasitas Arah x (PUSHX)

Sumber : Program Komputer

Tabel 3. Data Kurva Kapasitas Arah x

<i>Step</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (ton)</i>
0	0.000176	0
1	0.013535	178.8058
2	0.026726	325.0645
3	0.035898	377.6599
4	0.065219	447.708
5	0.095228	484.6749
6	0.095228	484.6749

Sumber : Program Komputer



Gambar 3. Kurva Kapasitas Arah y (PUSHY)
Sumber : Program Komputer

Tabel 4. Data Kurva Kapasitas Arah y

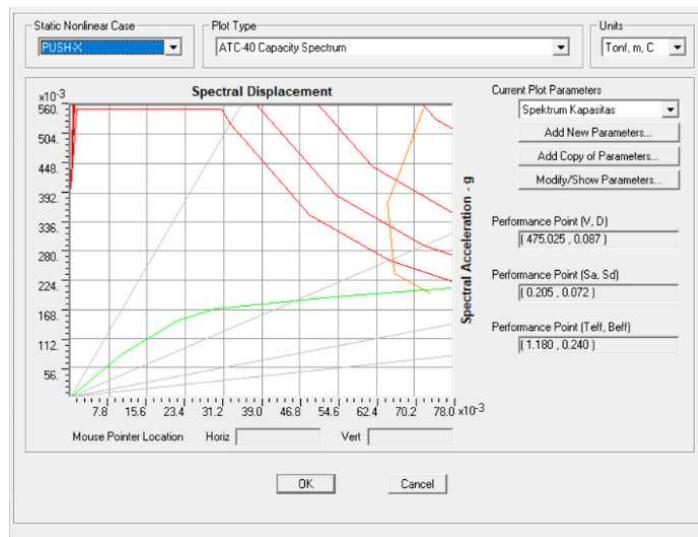
<i>Step</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (ton)</i>
0	-0.001553	0
1	0.017333	237.9204
2	0.032462	389.1087
3	0.054811	468.0072
4	0.064288	485.7747
5	0.06992	490.804
6	0.080129	494.1261
7	0.117276	523.923
8	0.150835	553.8474
9	0.152807	555.3387
10	0.152807	555.339
11	0.152807	555.339
12	0.152807	555.339
13	0.152807	555.339
14	0.152807	555.339

Sumber : Program Komputer

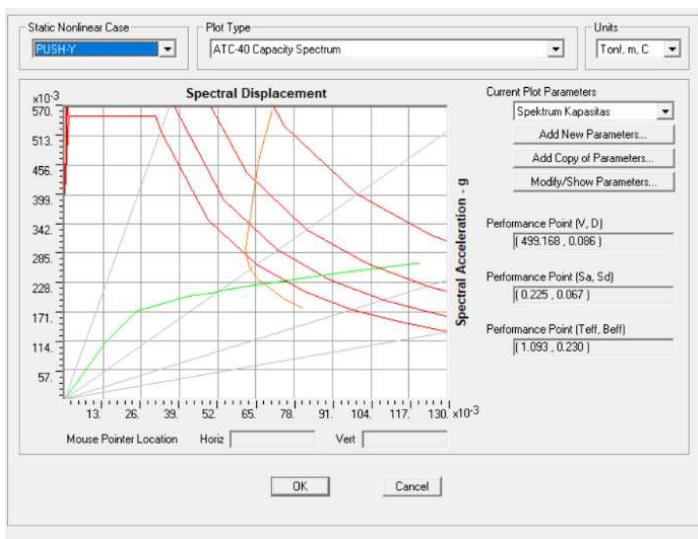
Dari Tabel 3 dapat dilihat untuk kurva kapsitas arah x maksimum sebesar 484.6749 ton dengan *displacement* sebesar 0.095228 m berakhir di step ke-6. Dari Tabel 4 dapat dilihat untuk kurva kapasitas arah y maksimum sebesar 555.339 ton dengan *displacement* sebesar 0.152807 m berakhir pada step ke-14

b. Titik Kinerja Metode Capacity Spectrum

Hasil dari titik kinerja (*Performance Point*) untuk PUSHX nilai $Sa = 0,205$ dan $Sd = 0,072$ sedangkan PUSHY nilai $Sa = 0,225$ dan $Sd = 0,067$.



Gambar 4. *Performance Point Arah x*



Gambar 5. *Performance Point Arah y*
Sumber : Program komputer

Tabel dibawah menunjukkan hasil dari evaluasi kinerja struktur pada bangunan.

Tabel 5. *Performance Point* hasil analisis pushover

Arah beban Pushover	Bese Shear Ton	Performance Point					
		V_t	D (m)	Sa	Sd	T_{eff} (detik)	β_{eff} (%)
Arah x	1180.18	475.025	0.087	0.205	0.072	1.180	0.240
Arah y	1180.18	499.168	0.086	0.225	0.067	1.093	0.230

c. Level Kinerja Struktur

- 1) *Pushover* arah x

$$\text{Maximum total drift ratio} = \frac{D}{H} = \frac{0.087}{16} = 0.0054$$

Menurut ATC-40 nilai *maximum total drift ratio* < 0.01 maka level kinerja struktur tersebut masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), yang artinya bangunan tidak mengakibatkan kerusakan berarti, aman saat terjadinya gempa, dan resiko korban jiwa dan kegagalan pada struktur tidak terlalu berarti dan bisa digunakan aktivitas kembali.

- 2) *Pushover* arah y

$$\text{Maximum total drift ratio} = \frac{D}{H} = \frac{0.088}{16} = 0.0053$$

Menurut ATC-40 nilai *maximum total drift ratio* < 0.01 maka level kinerja struktur tersebut masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), yang artinya bangunan tidak mengakibatkan kerusakan berarti, aman saat terjadinya gempa, dan resiko korban jiwa dan kegagalan pada struktur tidak terlalu berarti dan bisa digunakan aktivitas kembali.

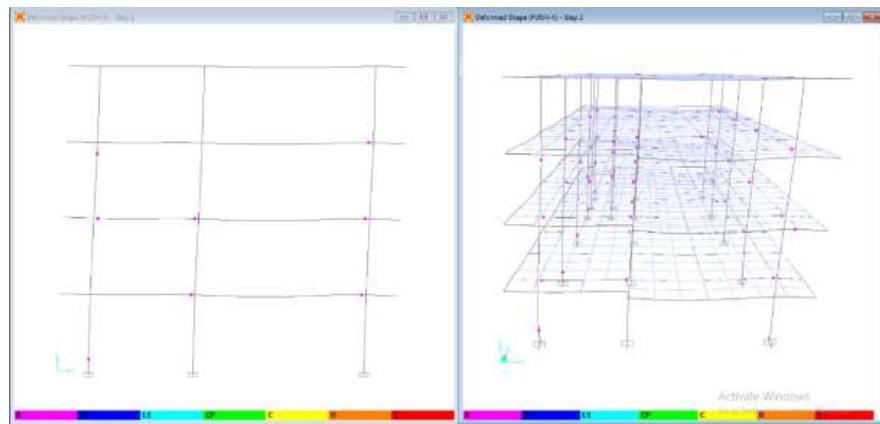
d. Mekanisme Sendi Plastis

Pushover analysis menunjukkan terjadinya sendi plastis pada setiap peningkatan beban. Pada proses pushover suatu struktur bangunan diberikan gaya gempa statik secara bertahap, kemudian akan terbentuk sebuah sendi plastis pada setiap elemen struktur.

- 1) Sendi plastis struktur pushover arah x

- a) Step awal saat sendi plastis pada balok

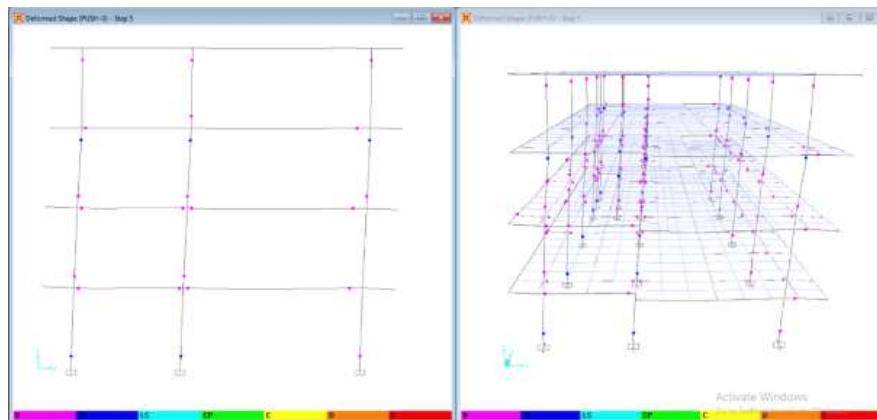
Pada step 1 pada balok, elemen struktur mulai mengalami sendi plastis untuk pertama kalinya dalam arah x. sendi plastis berada pada tingkat kinerja B-IO, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6, seperti yang ditunjukkan oleh adanya titik plastis berwarna merah muda diujung balok.



Gambar 6. Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Balok Arah x
Sumber : Program komputer

b) Step awal saat terjadinya sendi plastis pada kolom

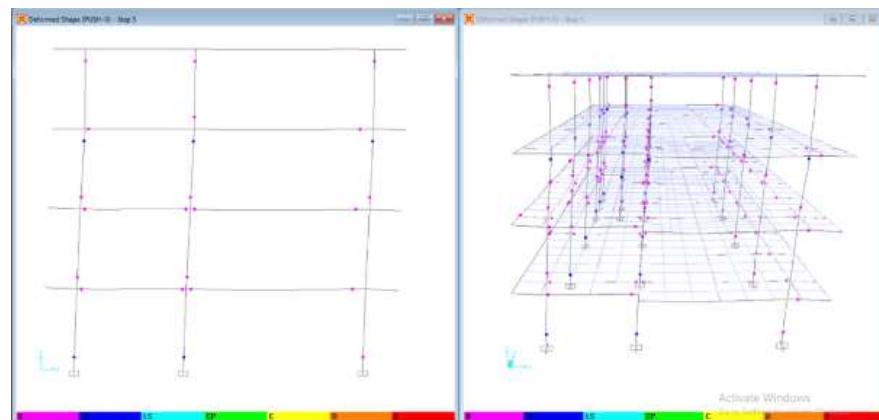
Sendi plastis pada kolom mulai terjadi pada step 2 untuk pembebanan arah x di tandai dengan munculnya titik-titik sendi plastis pada kolom lantai dasar, sendi plastis pada kolom tersebut ditandai dengan warna ungu yaitu B-IO pada kolom dasar yang artinya masih bersifat elastis. Sendi plastis pada kolom bisa dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Kolom Arah x
Sumber : Program komputer

c) Step ketika terjadi kelelahan awal

Step ini ditandai dengan terjadinya titik-titik sendi plastis pada balok dengan warna biru dengan level kinerja IO - LS, struktur mulai bersifat inelastic. Untuk arah x terjadi kelelahan tersebut terjadi pada step 5 terlihat pada Gambar 8 sebagai berikut.

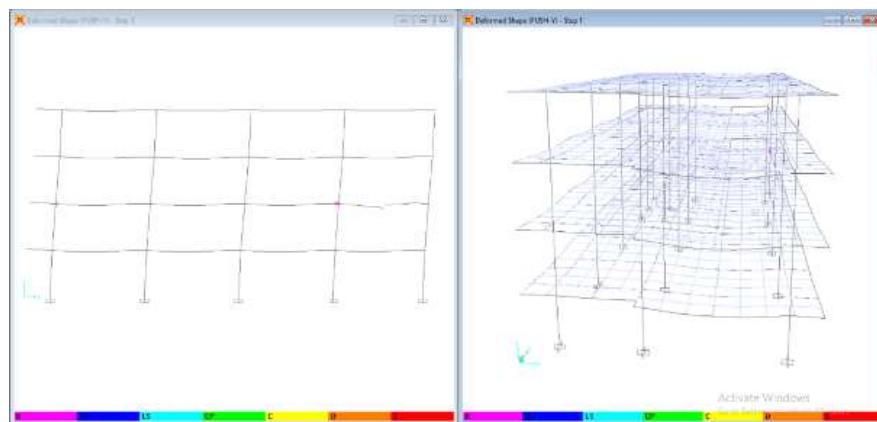


Gambar 8. Awal Terjadi Kelelahan Pada Struktur Arah x
Sumber : Program komputer

2) Sendi plastis struktur *pushover* arah y

a) Step awal saat sendi plastis pada balok

Komponen struktur yang mengalami sendi plastis pertama kali untuk arah y mulai terjadi pada step 1 pada balok. Hal tersebut ditandai dengan munculnya titik-titik plastis pada ujung-ujung balok berwarna ungu artinya sendi plastis berada pada level kinerja B-IO.

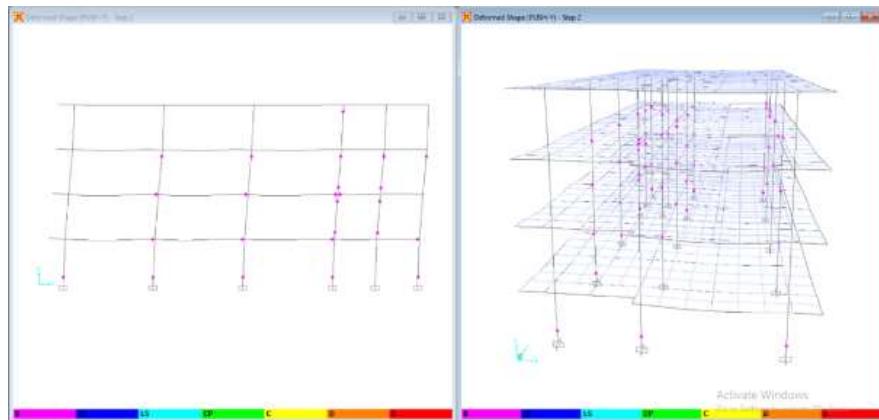


Gambar 9. Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Balok Arah y
Sumber : Program komputer

b) Step awal saat terjadinya sendi plastis pada kolom

Sendi plastis pada kolom mulai terjadi pada step 2 untuk pembebanan arah y. ditandai dengan munculnya titik-titik sendi plastis pada kolom lantai dasar,

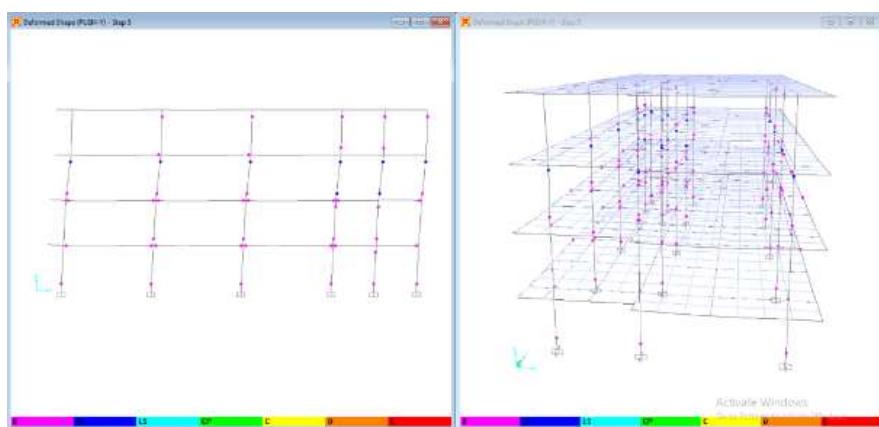
sendi plastis pada kolom tersebut ditandai dengan warna ungu yaitu B-IO pada kolom dasar yang artinya masih bersifat elastis.



Gambar 10. Step Awal Terjadinya Sendi Plastis Kolom Arah y
Sumber : Program komputer

c) Step ketika terjadi kelelahan awal

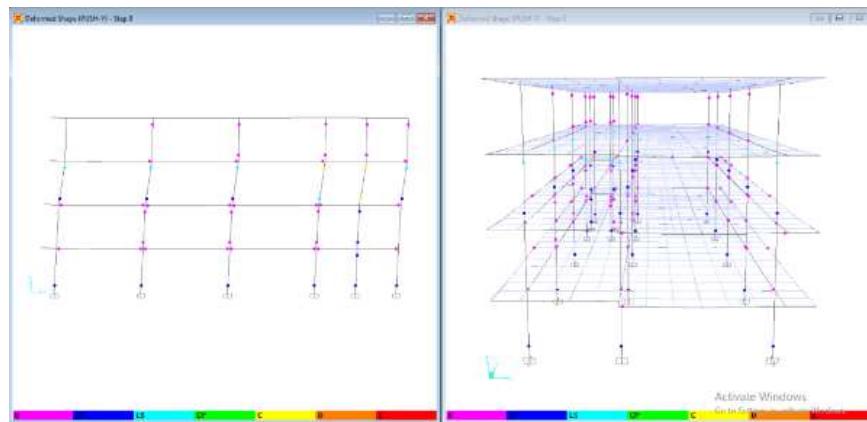
Step ini ditandai dengan terjadinya titik-titik sendi plastis pada balok dengan warna biru dengan level kinerja IO - LS, struktur mulai bersifat inelastic. Untuk arah x terjadi kelelahan tersebut terjadi pada step 5 terlihat pada Gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 11. Awal Terjadi Kelelahan Pada Struktur Arah y
Sumber : Program komputer

d) Step ketika struktur mulai *collapse*

Step ini ditandai dengan terjadinya titik-titik plastis berwarna ungu dengan level kinerja C – D yang artinya struktur mulai mengalami kerusakan serius. Untuk arah y mulai collapse pada step 8 terlihat pada Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 12. Struktur Mulai *Collapse* Arah y
Sumber : Program komputer

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari analisis *pushover* Gedung Rumah Sakit Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah, Kediri akibat gempa bisa disimpulkan antara lain.

1. Besar gaya geser dasar maksimum untuk kurva kapasitas arah x sebesar 484.6749 ton dengan displacement sebesar 0.095228 m terjadi pada step ke-6, sedangkan arah y gaya geser dasar maksimum sebesar 555.339 ton dan *displacement* sebesar 0.152807 m terjadi pada step ke-14.
2. Nilai *performance point* dari analisis *pushover* pada arah x diperoleh nilai *Spectral acceleration (Sa)* sebesar 0.205 g dan nilai *Spectral displacement (Sd)* = 0.072 m, sedangkan untuk arah y *Spectral acceleration (Sa)* = 0.225 g dan nilai *Spectral displacement (Sd)* = 0.067 m.
3. Akibat pembebanan lateral arah x dan arah y secara bertahap mengakibatkan bangunan mengalami sendi plastis baik pada balok maupun kolom. Adapun mekanisme sendi plastis dijelaskan sebagai berikut.
 - a. Sendi plastis analisis *pushover* arah x terjadi kelelahan awal pada step ke-5 yang ditandai dengan terjadinya titik-titik sendi plastis pada balok dengan warna biru dengan level kinerja IO – LS yang artinya kerusakan kecil pada struktur (tidak berarti),
 - b. Sendi plastis untuk arah y terjadi struktur mulai *collapse* pada step ke-8 yang ditandai dengan terjadinya titik-titik plastis berwarna kuning dengan level kinerja C–D yang artinya gaya geser batas maksimum suatu gedung masih mampu ditahan.

DAFTAR REFERENSI

- R. Bambang Kusuma Prihadi, R. H. P., Kurniati, D., & Prihadi, B. K. (2020). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan Pushover Analysis Dengan Metode Atc-40 Dan Fema 356. *Jurnal PenSil*, 9(1), 40–46. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v9i1.14021>
- Setiawan, A. (2016). Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847: 2013. In Lemedha Simarmata (Ed.), Jakarta: Erlangga. Erlangga. http://union-catalog.polinema.ac.id//index.php?p=show_detail&id=13886
- SNI, 1727. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.
- Studi, P., Teknik, S., Teknik, F., Dan, S., & Indonesia, U. I. (2019). *Evaluasi Kinerja Dan Probabilitas Kerusakan Seismik Gedung Laboratorium Dengan Analisis Pushover Dan Metode Hazus (Evaluation of Performance and Seismic Damage Probability of Laboratory Building Using Pushover Analysis and Hazus Method)*.
- Website, T. F. (2019). *perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi , pemeliharaan dan penilaian kelayakan dan bangunan gedung dan nongedung sebagai revisi struktur bangunan gedung dan nongedung ; (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun. 8.*