Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Analisis *Pushover* Untuk *Performance Based Design* dengan Menggunakan Metode *Capacity Spectrum Method* (CSM) (Studi Kasus: Gedung A Rumah Sakit Paru Jember)

Fachri Ainur Roziq [1], Nurjanah [2], Heru Hendri Iswanto[3]
[1,2,3] Prodi Teknik Sipil/ Fakultas Teknik/ Universitas Islam Balitar

fakriainur@gmail.com dan HP. 081515360706

Diterima (Agustus, 2024), direvisi (September, 2024), diterbitkan (Desember, 2024)

Abstrak

Gempa bumi terjadi akibat pelepasan energi dalam batuan yang mengalami deformasi. Salah satu tren desain bangunan tahan gempa adalah perencanaan berbasis kinerja (*Performance Based Design*). *Performance Based Seismic Design* (PBSD) menentukan target kinerja bangunan sebagai parameter minimum pada akhir proses desain. Analisis *pushover* menganggap gempa sebagai beban statik pada pusat massa tiap lantai. Dua metode terkenal adalah FEMA 273/274, FEMA 356/440, dan ATC-40. Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif, dengan studi kasus pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember. Tujuannya untuk mengetahui *performance point* dan level kinerja gedung menggunakan analisis *pushover* dan *Capacity Spectrum Method* (CSM). Standar yang digunakan meliputi ATC-40, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, dan SNI 03-1727-1989. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung memiliki kinerja *damage control* pada arah X dan Y, sehingga bangunan mampu menahan gempa dan kerusakan dapat diperbaiki. Risiko korban jiwa sangat kecil, dan pola keruntuhan struktur sesuai SCWB (*strong column weak beam*), sehingga perencanaan struktur gedung sesuai ketentuan yang berlaku.

Abstract

Earthquakes occur due to the release of energy in deforming rocks. One of the trends in earthquake-resistant building design is performance-based design. Performance Based Seismic Design (PBSD) specifies building performance targets as minimum parameters at the end of the design process. Pushover analysis considers the earthquake as a static load on the center of mass of each floor. Two well-known methods are FEMA 273/274, FEMA 356/440, and ATC-40. This research is descriptive quantitative, with a case study of Building A of Jember Lung Hospital. The purpose is to determine the performance point and performance level of the building using pushover analysis and Capacity Spectrum Method (CSM). The standards used include ATC-40, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, and SNI 03-1727-1989. Based on the results of the study, it shows that the building has damage control performance in the X and Y directions, so the building is able to withstand the earthquake and the damage can be repaired. The risk of casualties is very small, and the structural collapse pattern is in accordance with SCWB (strong column weak beam), so the building structure planning is in accordance with applicable regulations.

Keyword: ETABS; pushover analysis; ATC-40; performance point

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba–tiba akibat dari pecahnya/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi [1]. Salah satu tren dalam perencanaan bagunan tahan gempa yaitu perencanaan berbasis kinerja (*Performance Based Design*). *Performance Based Sesismic Design* (PBSD) merupakan salah satu konsep mendesain bangunan dimana target kinerja bangunan (*Performance Objective*) ditentukan terlebih dahulu, dan pada akhir proses desain, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi. Konsep dari perencanaan ini merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan, dimana perencanaan ini memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gempa, sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis [2].

Analisis *pushover* adalah analisis yang mana pengaruh gempa rencana pada struktur dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai. Beban statik kemudian ditingkatkan dengan bertahap yang kemudian terjadilah pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan, lalu peningkatan beban menyebabkan struktur mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang signifikan hingga tercapainya target peralihan yang diharapkan [3]. Beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *displacement coeficient method* atau metode koefisien perpindahan (FEMA 273/274 dan FEMA 356/440) dan *capacity spectrum method* atau metode spektrum kapasitas (ATC-40). Selain itu ada persyaratan perpindahan dari SNI-1726-2019 yang dapat dijadikan sebagai kriteria kinerja [4].

Perkembangan teknologi sangat membantu para *engineer* dalam perencanaan dan analisis kinerja suatu struktur bangunan. Tersedianya program bantu struktur seperti SAP 2000, ETABS, Tekla Struktur mampu menyederhanakan persoalan dalam bentuk pemodelan yang sebelumnya sangat kompleks [5]. Penelitian ini mengambil studi kasus pada gedung beton bertulang yang berfungsi sebagai Rumah Sakit Umum. Gedung A Rumah Sakit Paru Jember merupakan Gedung berlantai 7 dengan tinggi 34m yang strukturnya *irregular* (tidak beraturan). Bangunan ini terletak di Jl. Basuki Rahmat No. 1 Kebonsari, Kec. Sumbersari, Kab. Jember, Provinsi Jawa Timur. Analisis kinerja yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *pushover* sesuai dengan SNI Gempa 1726:2019 dan ATC-40.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil output analisis *pushover* pada software ETABS, mengetahui kriteria kinerja pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember setelah dianalisis menggunakan metode *pushover analysis*, dan mengetahui pola keruntuhan struktur Gedung A Rumah Sakit Paru Jember.

2. MATERI DAN METODE

2.1. Materi

a. Prosedur Analisis Beban Gempa SNI 1726:2019

1) Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

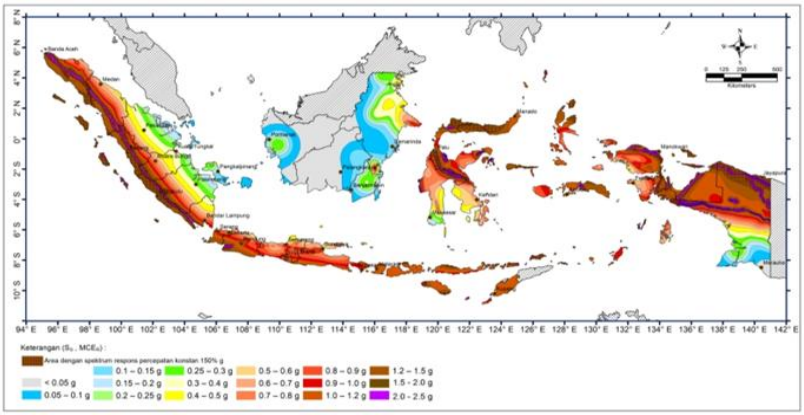
Kategori struktur bangunan gedung dan non-gedung yang terdaftar pada SNI

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

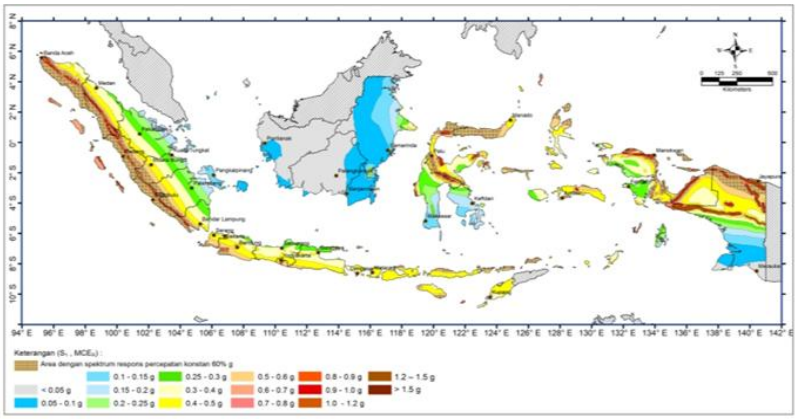
1726:2019 terkait dampak gempa harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (*Ie*) yang tercantum pada SNI 1726:2019.

2) Parameter Percepatan Gempa Terpetakan (S_S, S_1)

Parameter S_S (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dan respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada Gambar 1, Gambar 2, atau melalui website www.rsapuskim2019.litbang.pu.go.id, dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R, 2% persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 1. Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_S) di Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2. Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun
(Sumber: SNI 1726:2019)

3) Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs digunakan untuk menetapkan kriteria desain *seismic* dengan memperhitungkan faktor amplifikasi pada bangunan. Sebelum menentukan kriteria

desain *seismic* untuk sebuah bangunan, situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi masing-masing kelas situs dapat ditemukan pada SNI 1726:2019.

4) Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad \text{..... (1)}$$

$$S_{M1} = F_V \times S_1 \quad \text{..... (2)}$$

dengan:

S_S = Parameter respons spectral untuk perioda pendek

S_1 = Parameter respons spectral untuk perioda 1,0 detik

Nilai dari koefisien percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percapatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_V) dapat ditemukan pada SNI 1726:2019.

5) Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, S_{DS} ditentukan dengan Persamaan 3. dan pada perioda 1 detik S_{DS1} ditentukan dengan Persamaan 4., yaitu sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \text{..... (3)}$$

$$S_{DS1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \text{..... (4)}$$

dengan:

S_{DS} = Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek

S_{DS1} = Parameter respons spectral untuk perioda 1,0 detik

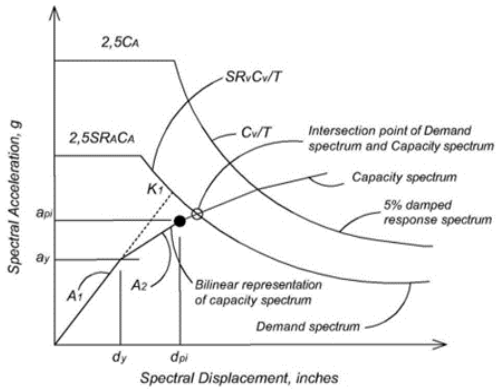
6) Kategori Desain Seismik

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, SDS dan SD1. Dalam penentuan dari kategori risiko bangunan dapat ditemukan pada SNI 1726:2019.

b. Analisis *Pushover* dengan Menggunakan Metode *Capacity Spectrum Method*

Studi ini menggunakan analisis *pushover* dengan metode CSM. Metode kapasitas spektrum (CSM) merupakan metode yang memplotkan demand respon spektrum serta kurva kapasitas menjadi satu format yang disebut sebagai format ADRS atau *acceleration displacement response spectra*. Titik perpotongan ini merupakan titik performanya (*performance point*) [6].

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)



Gambar 3. Penentuan *Performance Point*
(Sumber: Applied Technology Council, ATC-40, 1996)

c. Kriteria Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Menurut ATC-40, untuk menentukan Batasan rasio *drift* digunakan formula sebagai berikut [7]:

a. Maksimum total *drift*

$$D_{max} = \frac{Dt}{Htot} \quad \text{..... (5)}$$

b. Maksimum total *in-elastic drift*

$$Di_{max} = \frac{(Dt-D1)}{Htot} \quad \text{..... (6)}$$

dengan:

Dt = Perpindahan atap total
D1 = Perpindahan pada kondisi sendi plastis pertama
Htot = Tinggi total struktur gedung

Level kinerja struktur berdasarkan ketentuan ATC-40 adalah sebagai berikut [8]:

Tabel 1. Batasan Rasio *Drift* Atap

Parameter	*Performance Point*			
	IO	***Damage Control***	***LS***	***Structural Stability***
Maks. total *drift*	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33*Vi/Pi*
Maks. *inelastic drift*	0,005	0,005 – 0,015	No limit	No limit

2.2. Metode

a. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember yang terletak di Jl. Basuki Rahmat No. 1 Kebonsari, Kec. Sumbersari, Kab. Jember, Provinsi Jawa Timur. 68131.

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)



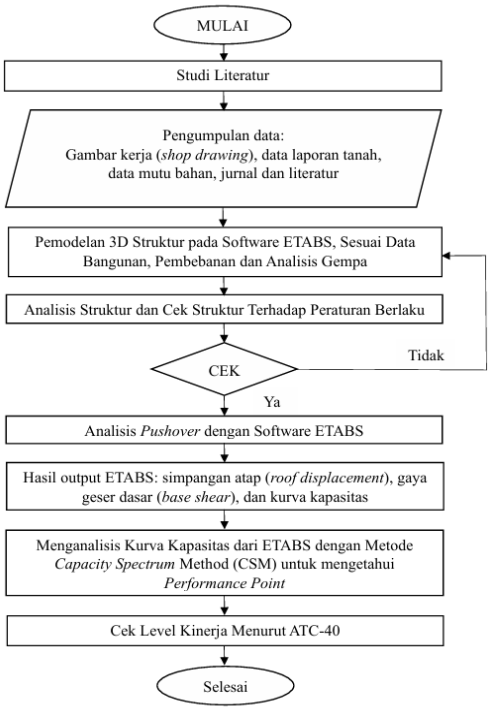
Gambar 4. Lokasi Penelitian

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi terkait Gedung A Rumah Sakit Paru Jember, baik yang bersifat sekunder maupun primer, dilakukan dengan cermat. Data yang diperoleh adalah berupa *shop drawing* dan *soil investigation*. Data tersebut digunakan dalam melakukan pemodelan struktur 3D yang kemudian dianalisis dengan bantuan software ETABS [9]. Sedangkan, data tanah digunakan dalam penentuan kategori jenis tanah dalam perhitungan *seismic*.

c. Metode Analisis Data

Hasil dari pengolahan data, kemudian dilakukan analisa data. Analisa data yaitu menggunakan *pushover analysis* dengan menggunakan metode perpindahan *Capacity Spectrum Method* (CSM) berdasarkan prosedur ATC-40. Tahap analisis pengolahan data juga dibantu dengan menggunakan aplikasi ETABS V.21.2.0. Terkait dengan metode analisa data dapat dilihat pada Gambar 5. Diagram Alir Penelitian sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Umum Pemodelan Struktur

Data yang digunakan dalam pemodelan struktur meliputi:

a. Mutu beton pile cap, balok, kolom, dan pelat, serta corewall adalah 30 Mpa
b. Mutu baha tulangan lentur adalah 420 Mpa
c. Mutu baja tulangan geser adalah 240 Mpa

Adapaun dimensi yang di definisikan pada software ETABS, sebagai berikut:

Tabel 2. Dimensi Balok dan Sloof

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)	No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1A	400 x 600	9	BK1	300 x 500
2	B1B	400 x 600	10	BK2	250 x 400
3	B2	350 x 550	11	BK3	200 x 300
4	B3A	300 x 500	12	BR	250 x 500
5	B3B	300 x 500	13	S1	300 x 500
6	B4	250 x 400	14	S2	250 x 400
7	B5	200 x 300	15	S3	200 x 300
8	B6	150 x 250	16	RB	150 x 200

Tabel 3. Dimensi Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	770 x 770
2	K2	670 x 670
3	K3	470 x 470
4	K4	400 x 400
5	K5	300 x 300

Tabel 4. Dimensi Pelat Lantai

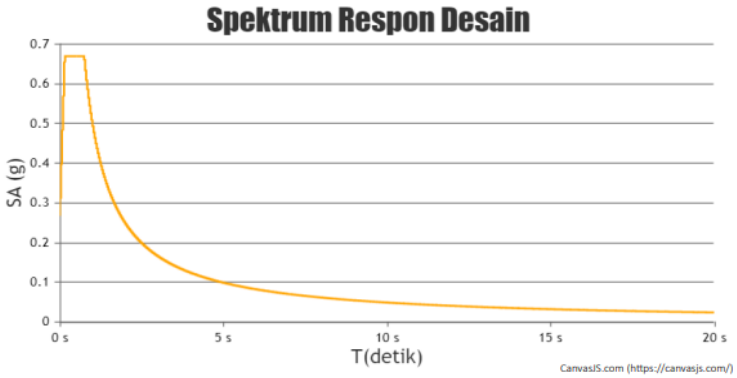
No	Tipe Pelat Lantai	Dimensi (mm)
1	P1	120
2	P2	150
3	P3 (atap)	120
4	Corewall	200

3.2. Data Seismik

Berikut data seismik lokasi bangunan yang diperoleh berdasarkan hasil data penyelidikan tanah:

a. Lokasi bangunan = Kota Jember
b. Fungsi layanan konstruksi = Rumah Sakit
c. Jenis lokasi tanah = Tanah Sedang (SD)
d. Sistem struktur bangunan = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus + SDSK

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)



Gambar 6. Hasil Grafik Respons Spektrum dari RSA Puskim 2019
(*Sumber: RSA Puskim 2019*)

3.3. Kontrol Struktur Bangunan

Penentuan layak atau tidaknya struktur yang dimodelkan, perlu dilakukan pengecekan atau control struktur bangunan sesuai dengan prosedur SNI 1726:2019 meliputi [10]:

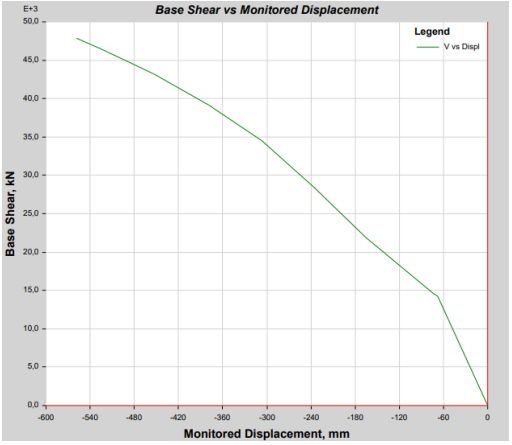
a. *Modal Participating Mass Ratio* (MPMR);
b. Periode fundamental struktur (T);
c. Kontrol sistem ganda;
d. Gaya geser dasar seismik;
e. Penskalaan gaya;
f. Simpangan antar lantai pada struktur;
g. Pengaruh P-Delta;
h. Ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal struktur

3.4. Hasil Analisis Pushover

Setelah selesai dalam tahap pengontrolan struktur bangunan, kemudian dilakukan analisis *pushover*. Dari hasil analisis *pushover* didapatkan hasil berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) dan nilai *performance point*.

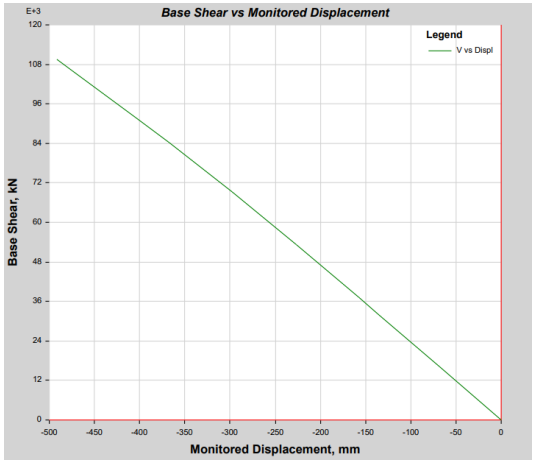
a. Kurva Kapasitas (*capacity curve*)

Berikut adalah hasil dari kurva kapasitas pada masing-masing arah, yaitu arah Push X dan Push Y.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah X

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)



Gambar 8. Kurva Kapasitas Arah Y

Berdasarkan dari kedua kurva diatas, kurva kapasitas Y memiliki nilai *base force* yang lebih besar daripada arah X. Terlihat dari bentuk kurva kapasitas Y lebih landai dibandingkan kurva kapasitas X. Berikut adalah nilai dari *base reaction* (V) dan *displacement* (D) dari kurva kapasitas *Pushover* arah X dan Pushover arah Y, yaitu dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 5. Nilai V *vs Displacement Pushover X*

No	*Monitored Displacement*	*Base Force*	No	*Monitored Displacement*	*Base Force*
	mm	kN		mm	kN
1	-68	14253,1546	6	-378,751	39190,0975
2	-72,84	14536,4925	7	-453,501	43182,95
3	-165,155	21888,3775	8	-523,863	46415,8968
4	-236,734	28477,3092	9	-557,942	47909,1534
5	-306,922	34460,2985			

Tabel 6. Nilai V vs *Displacement Pushover* Y

No	*Monitored Displacement*	*Base Force*	No	*Monitored Displacement*	*Base Force*
	mm	kN		mm	kN
1	0	0	7	-367,1299304	84266,11463
2	-68	16066,08058	8	-404,1353377	91965,19637
3	-136	32062,20727	9	-404,1421377	91919,53501
4	-157,5974649	37139,82837	10	-474,2880653	105980,4559
5	-226,7166708	53244,91821	11	-491,7953269	109438,8544
6	-298,0598264	69361,21336			

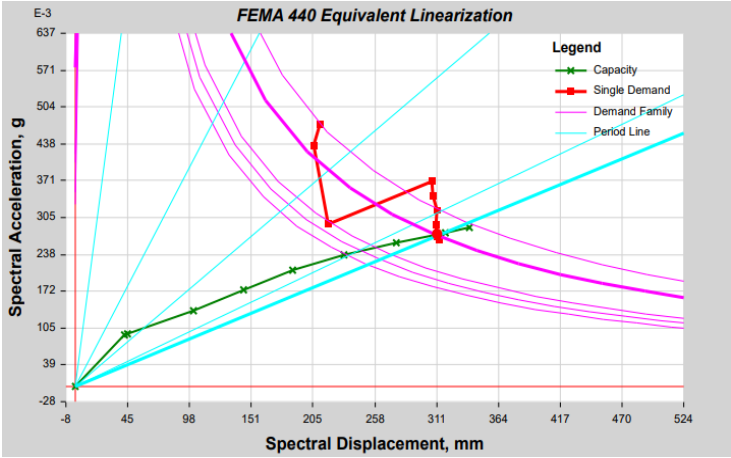
b. *Performance Point*

Performance point didapatkan dari perpotongan kurva kapasitas (*capacity curve*) dan *single demand* dengan format ADRS (*Acceleration Dispalcement Response Spectrum*), yaitu S_s dan S_d (sebagai spektrum kapasitas). Penginputan nilai S_s dan S_d untuk wilayah kota Jember dengan jenis tanah SD, diperoleh S_s = 0,879 dan S_d = 0,394.

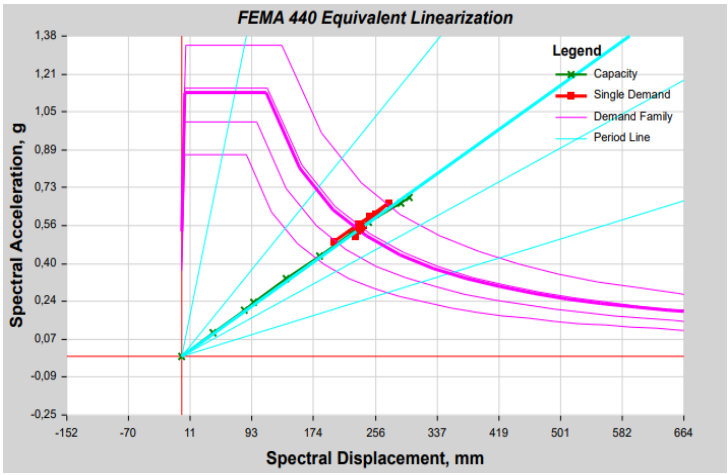
Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Tabel 7. *Performance Point*

	***Pushover* X**	***Pushover* Y**
Shear, V (Kn)	45857,8978	88327,6401
Displacement, D (mm)	511,719	386,652
Sa (g)	0,274614	0,551621
Sd (m)	311,403	236,035
T *effective* (sec)	2,558	1,533
Damping Ratio, Beff (%)	0,2055	0,0954



Gambar 9. *Performance Point Pushover* X



Gambar 10. *Performance Point Pushover* Y

c. Kriteria Kinerja Struktur

Penentuan kriteria kinerja struktur mengacu kepada kriteria kinerja berdasarkan ATC-40. Batasan yang diberikan oleh ATC-40 mengenai level kinerja dapat dilihat pada Tabel 2.1 diatas. Sedangkan, untuk perhitungan nilai *roof displacement* dari hasil analisis *pushover* adalah sebagai berikut:

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

1) Pushover Arah X

a) *Maximum Total Drift Ratio*: $\frac{\delta}{H} = \frac{511{,}719}{34000} = 0{,}015$

Berdasarkan nilai ATC-40 Tabel 1 untuk nilai *Maximum Total Drift Ratio* masuk kedalam nilai 0,01-0,02, sehingga kategori tingkat kinerja struktur adalah *Damage Control* (DO).

b) *Maximum Inelastic Ratio*: $\frac{\delta - \delta I1}{H} = \frac{511{,}719 - 68}{34000} = 0{,}013$

Berdasarkan nilai ATC-40 Tabel 1 untuk nilai *Maximum Total Drift Ratio* masuk kedalam nilai 0,01-0,02, sehingga kategori tingkat kinerja struktur adalah *Damage Control* (DO).

2) Pushover Arah Y

a) *Maximum Total Drift Ratio*: $\frac{\delta}{H} = \frac{386{,}652}{34000} = 0{,}011$

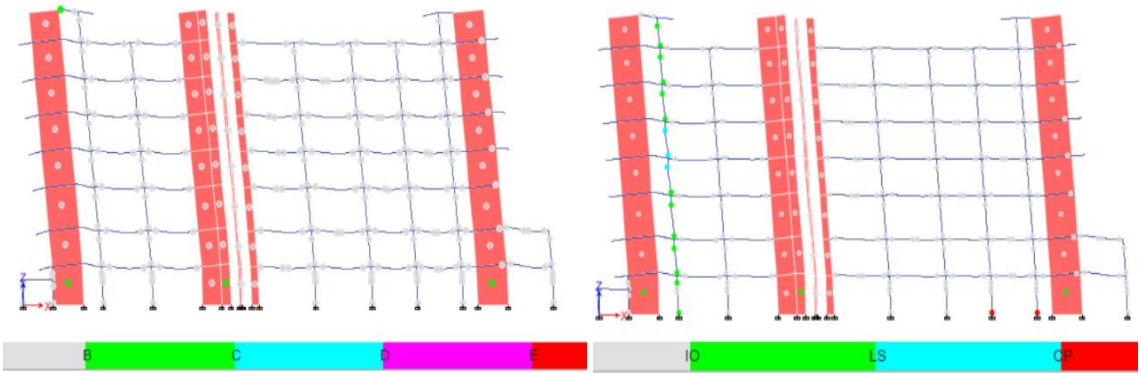
Berdasarkan nilai ATC-40 Tabel 1 untuk nilai *Maximum Total Drift Ratio* masuk kedalam nilai 0,01-0,02, sehingga kategori tingkat kinerja struktur adalah *Damage Control* (DO).

b) *Maximum Inelastic Ratio*: $\frac{\delta - \delta I1}{H} = \frac{386{,}652 - 68}{34000} = 0{,}009$

Berdasarkan nilai ATC-40 Tabel 1 untuk nilai *Maximum Total Drift Ratio* masuk kedalam nilai 0,01-0,02, sehingga kategori tingkat kinerja struktur adalah *Damage Control* (DO).

d. Mekanisme Sendi Plastis

Terjadinya sendi plastis pada struktur bangunan disebabkan karena gempa yang direncanakan telah terlampaui, hal ini ditunjukkan dari mekanisme sendi plastis step nol dibebani beban *gravivty* dan beban *pushover* arah X, serta *pushover* arah Y.

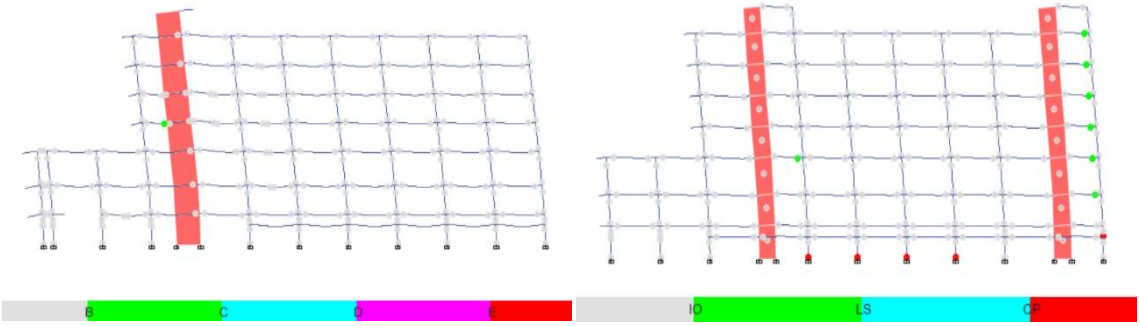


Gambar 11. Mekanisme Sendi Plastis Portal Sumbu X Step 3 dan Step 9

Pada step ke-3 elemen struktur sudah mengalami sendi plastis pada level IO, yaitu pada struktur balok dan corewall. Sampai pada step ke-9 software ETABS berhenti melakukan iterasi sehingga didapatkan hasil sendi plastis hingga step-9. Pada step terakhir ini struktur sudah tidak mampu dalam menahan beban lateral (*Collapse*

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 7 Tahun 2024, page B8.1-B8.13. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 26 Oktober 2024
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Prevention). Utamanya pada kolom lantai dasar. Nilai displacement dan Base Shear pada step ini adalah D = 557,942 mm, V = 47909,1534 kN.



Gambar 12. Mekanisme Sendi Plastis Portal Sumbu Y Step 3 dan Step 11

Pada step ketiga, elemen struktur mulai mengalami sendi plastis level IO, yaitu pada struktur balok lantai 5. Sampai pada step ke-11 software ETABS berhenti melakukan iterasi. Sama seperti *pushover* arah X, struktur kolom lantai dasar banyak yang *collapse*. Hal ini berarti gaya lateral pada lantai dasar lebih besar daripada lantai atas. Nilai *displacement* dan *Base Shear* pada step ini adalah D = 491,795 mm, V = 109438,8544 kN.

Skema kelelehan sendi plastis pada hasil analisis sudah memenuhi konsep keruntuhan ideal (*strong column weak beam*). Struktur gedung didesain dengan kolom-kolom yang kuat untuk menahan beban lateral akibat gempa, sementara balok-baloknya dirancang lebih lemah untuk memungkinkan deformasi yang terkontrol. Pendekatan ini membantu dalam mereduksi energi gempa yang diserap oleh bangunan, sehingga meningkatkan keselamatan dan kinerja struktural secara keseluruhan. Dengan demikian, analisis *pushover* dan evaluasi kriteria kinerja serta pola keruntuhan pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember menunjukkan bahwa struktur ini memiliki respons yang baik terhadap gempa dan memenuhi prinsip-prinsip desain yang tepat untuk mengurangi kerentanan terhadap bencana gempa bumi.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis pushover diperoleh nilai titik kinerja (performance point) pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember. Nilai dari performance point pada pushover X adalah V=45857,8978; D=511,719; Sa=0,274614; Sd=311,403; T=2,558; damping ratio=0,2055%. Sedangkan, pada pushover Y adalah V=88327,6401; D=386,652; Sa=0,551621; Sd=236,035; T=1,533; damping ratio=0,0954%.

Gedung A Rumah Sakit Paru Jember memperoleh kriteria kinerja struktural yang sesuai dengan standar ATC-40, yaitu berada dalam kategori level kinerja Damage Control. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan mampu menahan gempa dengan risiko kerusakan yang dapat diperbaiki dan risiko terhadap korban jiwa manusia sangat kecil. Sedangkan, untuk pola keruntuhan pada Gedung A Rumah Sakit Paru Jember sudah sesuai dengan konsep SCWB (*Strong Column Weak Beam*). Dalam hal ini, secara

berurutan sendi plastis pertama muncul pada corewall lantai bawah, kemudian pada struktur balok, dan yang terakhir pada struktur kolom.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] S. H. Manalip, R. S. Windah, and S. O. Dapas, "Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 4, pp. 201–213, 2014.

[2] Z. Ramdan Hilmi and H. Riakara Husni, "Evaluasi Kinerja Kekuatan Struktur Gedung A Markas Kepolisian Daerah Lampung Baru menggunakan Direct Displacement Based Design (DDBD) sebagai Metode Desain Gaya Geser Dasar," 2020.

[3] C. Utomo, R. Irfan Susanto Ir Sri Tujono, H. Wibowo, and M. Eng, "Evaluasi Struktur Dengan Pushover Analysis Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta (The Evaluation of The Structure by Using Pushover Analysis of Kalibata Residences Building Jakarta)."

[4] S. Pangemanan and H. G. Mantiri, *Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko*.

[5] A. Putri, S. H. Herdinata, C. Credidi Septino Khala, and O. Lhara Sari, "Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode Pushover Analysis," vol. 8, no. 1, pp. 15–22, 2022.

[6] R. Aji Mustofa, H. Riakara Husni, and M. Isneini, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)," 2024.

[7] L. Hendri Suryo Anom, "Analisis Kinerja Struktur Dengan Metode Performance Based Design Terhadap Gedung Ketidakberaturan Vertikal," 2013.

[8] A. Putra, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Berdasarkan Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40) dan Target Perpindahan Modifikasi (FEMA 440)", doi: 10.24843/JITS.2023.v27.i01.p0.

[9] R. Kurniawati, H. Riakara Husni, and M. Isneini, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static Pushover Analysis dengan Capacity Spectrum Method (CSM) (Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadyah Metro)," 2021.

[10] Muhammad Hilmi, Erizal, and J. Febrita, "Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, no. 3, pp. 143–158, Dec. 2021, doi: 10.29244/jsil.6.3.143-158.