



Evaluasi Kinerja Gedung Rumah Sakit 3 Lantai Di Kotamobagu Dengan Metode Analisis Pushover

Valencia J. M. Bernardus^{#a}, Ronny E. Pandaleke^{#b}, Banu D. Handono^{#c}, Marthin D. J. Sumajow^{#d}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^avallenciabernardus14@gmail.com, ^bpandaleke@unsrat.ac.id, ^cbanu2h@unsrat.ac.id, ^ddody_sumajow@yahoo.com

Abstrak

Indonesia memiliki risiko gempa bumi yang tinggi karena dikelilingi oleh empat lempeng tektonik utama. Oleh karena itu, perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat penting, terutama untuk gedung-gedung vital seperti rumah sakit. Penelitian ini mengevaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Umum Monompia Kotamobagu yang terletak di daerah rawan gempa dengan menggunakan metode analisis pushover. Metode ini digunakan untuk menganalisis kapasitas struktur terhadap beban lateral akibat gempa serta menentukan tingkat kinerja berdasarkan standar ASCE 41-17, SNI 1726-2019 untuk menentukan tingkat kinerja bangunan, SNI 1727:2020 digunakan untuk menghitung beban desain minimum, sementara ATC-40 membantu dalam mengidentifikasi elemen-elemen kritis yang membutuhkan perkuatan. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SeismoStruct dengan data geometris dan material dari kondisi bangunan eksisting. Hasil analisis menunjukkan kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (base shear) dan perpindahan puncak struktur (roof displacement), serta mengidentifikasi elemen-elemen kritis pada struktur. Studi ini memberikan rekomendasi perbaikan dan peningkatan kinerja bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni dan keberlanjutan operasional bangunan pasca-gempa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam evaluasi kinerja struktur gedung tahan gempa di wilayah lain dengan kondisi seismik serupa.

Kata kunci: gempa, analisis non-linier, pushover, kinerja struktur

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Gempa bumi terjadi akibat pergerakan lempeng tektonik yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan atau tsunami. Di Indonesia, perencanaan bangunan tahan gempa sangat penting mengingat wilayahnya rawan gempa. Analisis Pushover digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan berdasarkan level kinerja yang menggambarkan kondisi keruntuhan bangunan. Evaluasi dilakukan pada Gedung Rumah Sakit Umum Monompia Kotamobagu untuk menilai kelayakan operasional gedung tersebut. Simpangan dan gaya geser pada struktur bangunan akan dianalisis sesuai dengan standar SNI 1726-2019.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, tugas akhir ini akan membahas seberapa baik kinerja struktur Gedung Rumah Sakit di Kotamobagu yang memiliki 3 lantai dalam menghadapi beban lateral, khususnya beban gempa.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menentukan tingkat kinerja struktur Gedung Rumah Sakit di Kotamobagu yang memiliki 3 lantai dalam menghadapi beban dorong statik melalui

Analisis Pushover.

2. Metode Penelitian

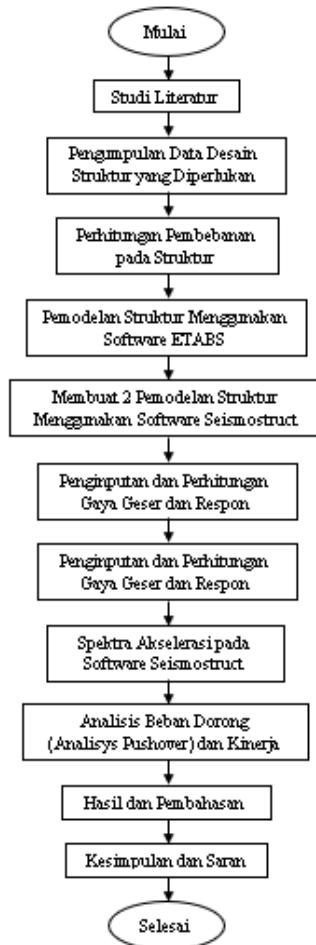
Penelitian dilakukan di gedung Rumah Sakit Umum Monompia Kotamobagu 3 lantai, dan di gedung Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.

2.1 Data-data penelitian

- Data Struktur
- Data Pembebanan
- Data Gempa pada Lokasi Penelitian

2.2 Bagan Alir

Adapun tahapan-tahapan penelitian dalam diagram alir pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Pustaka

3.1 Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

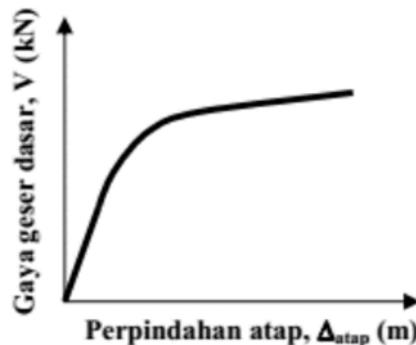
Gempa bumi disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik yang dapat memicu kerusakan struktural, longsor, dan tsunami. Mengingat Indonesia berada di wilayah dengan intensitas gempa yang tinggi, perencanaan struktur bangunan tahan gempa menjadi sangat penting.

Evaluasi dilakukan pada struktur Gedung Rumah Sakit Umum Monompia Kotamobagu untuk menilai apakah gedung tersebut masih layak beroperasi. Analisis meliputi simpangan antar lantai dan periode getar bangunan, sesuai dengan standar SNI 1726-2019. Faktor seperti dimensi kolom dan balok mempengaruhi simpangan dan gaya geser; semakin besar dimensi elemen

struktur, semakin kecil simpangan yang terjadi, namun gaya geser meningkat seiring berat gedung.

3.2 Analisis Pushover

Analisis pushover (ATC-40) adalah metode non-linear yang digunakan untuk menilai perilaku keruntuhan bangunan akibat gaya gempa dengan menerapkan beban lateral secara bertahap hingga mencapai pola keruntuhan tertentu. Dalam perencanaan bangunan berbasis kinerja (performance-based design), kinerja dan pola keruntuhan bangunan dinyatakan dengan jelas dalam bentuk kurva. Metode ini sering digunakan untuk memahami bagaimana bangunan akan runtuh di bawah beban gempa.



Gambar 2. Ilustrasi Kurva Pushover

Hasil dari analisis pushover nonlinear adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (base shear) dan perpindahan atap (roof displacement). Kurva ini mencerminkan kekuatan struktur, yang bergantung pada kemampuan momen-deformasi dari setiap komponen struktur. Kurva ini dibuat dengan mendorong struktur secara bertahap dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap akibat beban lateral tertentu.

3.3 Geser Dasar Seismik (SNI 1727:2019 Pasal 7.8.1)

Penentuan gaya geser dasar seismik ini sangat penting dalam perencanaan dan desain bangunan untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan gaya lateral yang dihasilkan oleh gempa dengan aman. Dalam persamaan ini, C_s adalah koefisien respons seismik yang mencerminkan karakteristik respons struktur terhadap gerakan tanah, sedangkan W adalah berat seismik efektif dari bangunan, yang mencakup beban mati serta beban hidup yang relevan. Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

3.4 Sasaran Kinerja

ASCE 41-17 mensyaratkan bahwa target level kinerja suatu bangunan harus terdiri dari target struktural dan target nonstruktural. Basic Performance Objective Equivalent to New Building Standards (BPON) adalah Target kinerja dasar untuk bangunan eksisting yang mensyaratkan dilakukan evaluasi.

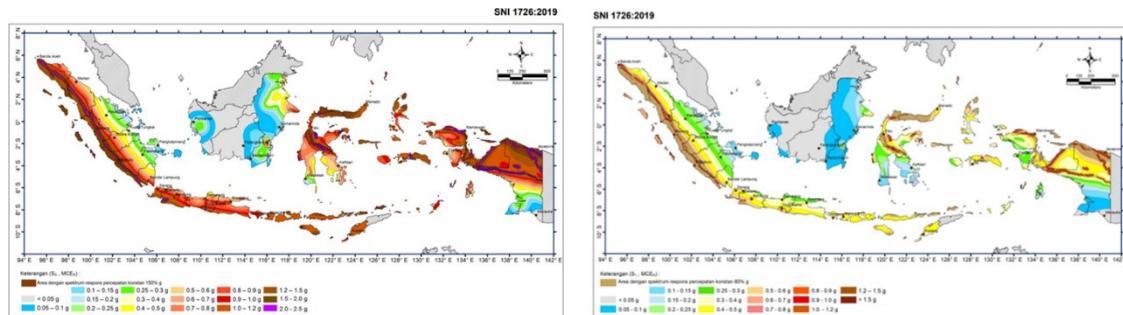
Tabel 1. Basic Performance Objective Equivalent to New Building Standards (BPON)

Kategori Risiko	Level Bahaya Gempa	
	BSE-1E	BSE-2E
I & II	<i>Life safety structural performance</i>	<i>Collapse prevention structural performance</i>
	<i>Life safety nonstructural performance (3-C)</i>	<i>Hazards reduced nonstructural performance (5-D)</i>
III	<i>Damage control structural performance</i>	<i>Limited safety structural performance</i>
	<i>Position retention nonstructural performance (2-B)</i>	<i>Hazards reduced nonstructural performance (4-D)</i>
IV	<i>Immediate occupancy structural performance</i>	<i>Life safety structural performance</i>
	<i>Position retention nonstructural performance (1-B)</i>	<i>Hazards reduced nonstructural performance (3-D)</i>

3.5 Seismic Hazard (ASCE 41-17 Pasal 2.4)

Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan dua tingkat bahaya gempa yaitu BSE-1E dan BSE-2E.

- BSE-1E merupakan gempa desain dengan periode ulang (return period) 225 tahun dengan 20% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun.
- BSE-2E merupakan gempa desain dengan periode ulang (return period) 975 tahun dengan 5% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun.

**Gambar 2.** Peta Parameter Gerak Tanah (Ss) dan (S1) Wilayah Indonesia

3.6 Respon Spektra Akselerasi (ASCE 41-17 Pasal 2.4.1.6)

Bahaya seismik akibat gerakan tanah didefinisikan melalui respon spektra akselerasi atau riwayat akselerasi gerakan tanah akibat gempa yang ditentukan dengan persamaan :

$$S_{XS} = F_a S_S$$

$$S_{X1} = F_v S_1$$

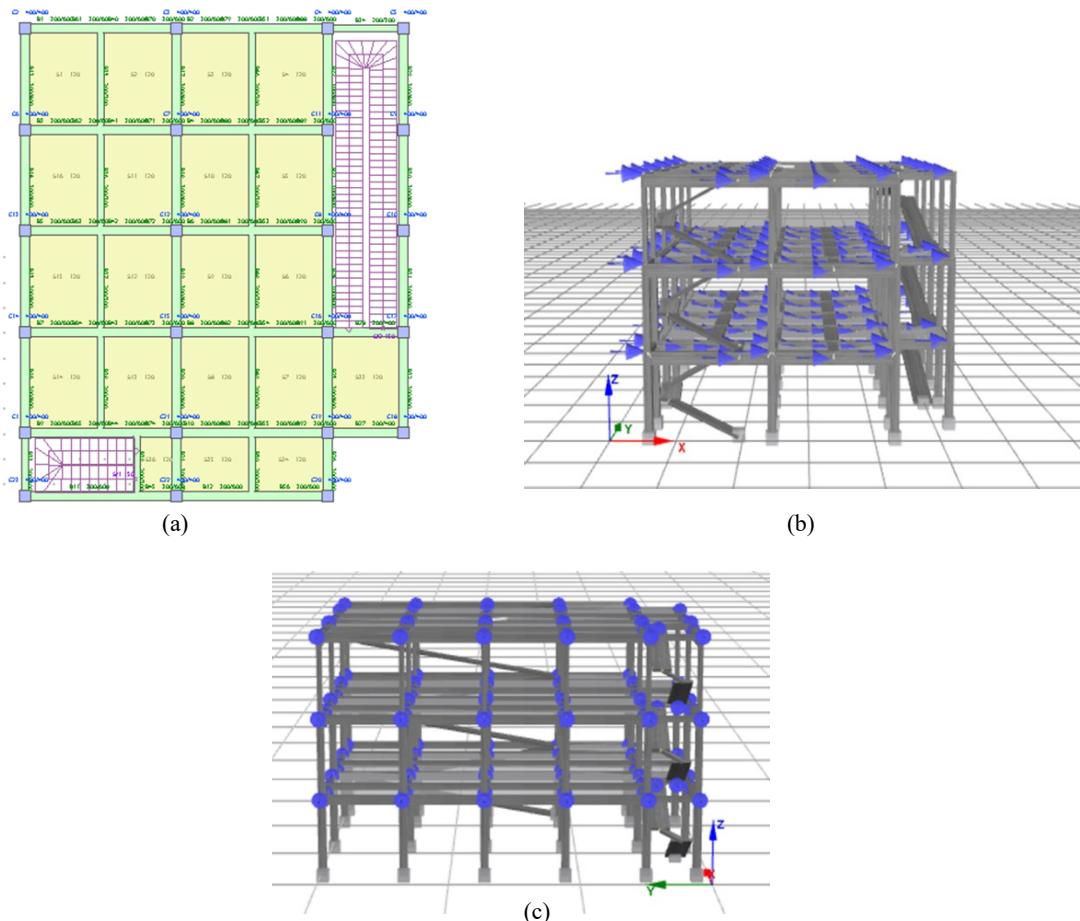
Keterangan :

S_{XS} = Parameter percepatan respon spektra akselerasi periode pendek

S_{X1} = Parameter percepatan respon spektra akselerasi periode panjang

4. Pemodelan Struktur

4.1 Model Sesuai Keadaan Exisiting

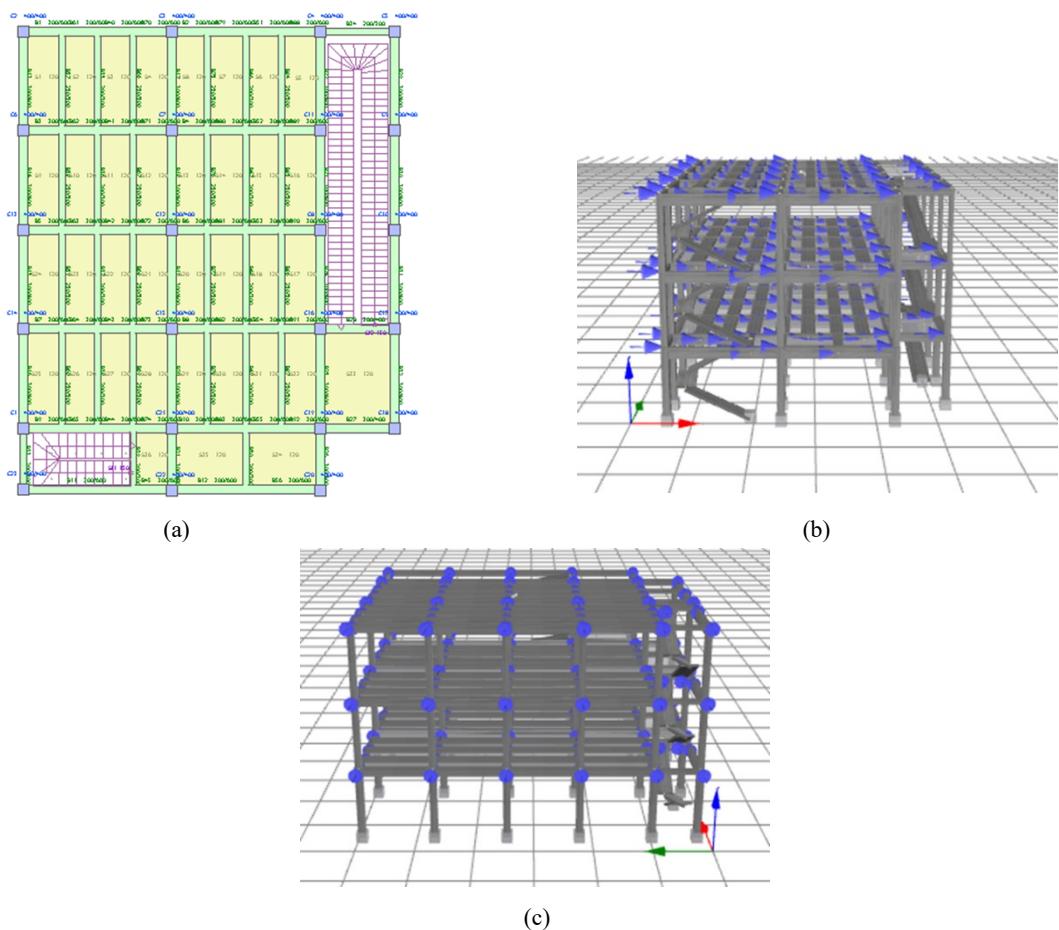


Gambar 3. (a) Denah Lantai 1-3; (b) Model 3D Beban Dorong Arah X; (c) Model 3D Beban Dorong Arah Y

4.2 Model Perencanaan Perkuatan

Pemeriksaan awal menunjukkan bahwa beberapa elemen struktur tidak memenuhi kriteria. Kolom di lantai 3 terlalu kecil untuk menahan beban gempa dan perlu diperbesar dengan jacketing. Kapasitas plat lantai dan ramp juga tidak memadai, sehingga diperlukan perkuatan tambahan. Analisis menunjukkan bahwa struktur memiliki kapasitas geser rendah dan perpindahan besar, yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada kolom dan balok.

Identifikasi elemen-elemen kritis ini menjadi dasar penentuan strategi perkuatan. Analisis pushover digunakan untuk menilai apakah struktur rumah sakit masih layak dan aman terhadap gempa. Hasil analisis menunjukkan perlunya perkuatan dengan jacketing kolom dan penambahan balok WF, yang berhasil meningkatkan kinerja gedung. Dengan perkuatan ini, gedung menjadi lebih aman dan tetap dapat berfungsi setelah gempa.



Gambar 4. (a) Denah Lantai 1-3; (b) Model 3D Beban Dorong Arah X; (c) Model 3D Beban Dorong Arah Y

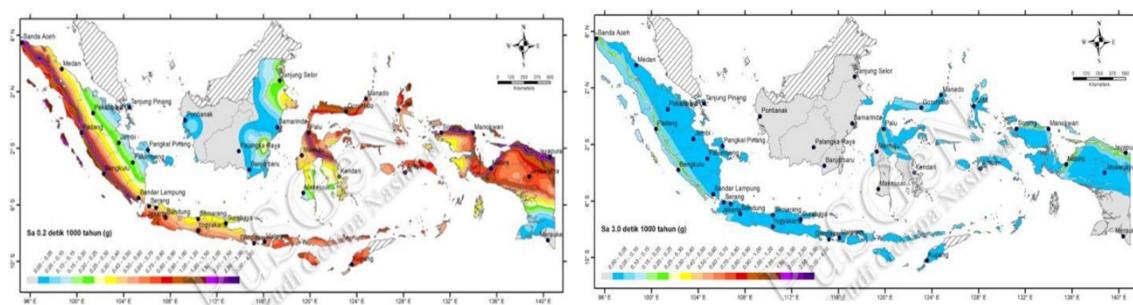
5. Analisis dan Pembahasan

5.1 Respon Spektra Akselerasi

Percepatan respon spektral untuk periode pendek (SXS) dan panjang (SX1) dihitung menggunakan persamaan berdasarkan peta deagregasi bahaya gempa Indonesia (2022) untuk level bahaya BSE-1E dan BSE-2E. Sebagai contoh, perhitungan dilakukan untuk lokasi Kotamobagu dengan redaman 5% dan kelas situs D.

Sasaran kinerja bangunan ditentukan berdasarkan kategori risiko gempa. Untuk bangunan kategori IV, pada level BSE-1E sasaran kinerja adalah Immediate Occupancy (IO), sementara pada level BSE-2E adalah Life Safety, sesuai dengan Tabel. 1.

➤ BSE-2E 5%/50 periode ulang gempa 1000 tahun



Gambar 5. Peta Spektrum Respon Percepatan 0,2 Detik dan 3 Detik Periode Ulang 1000 Tahun

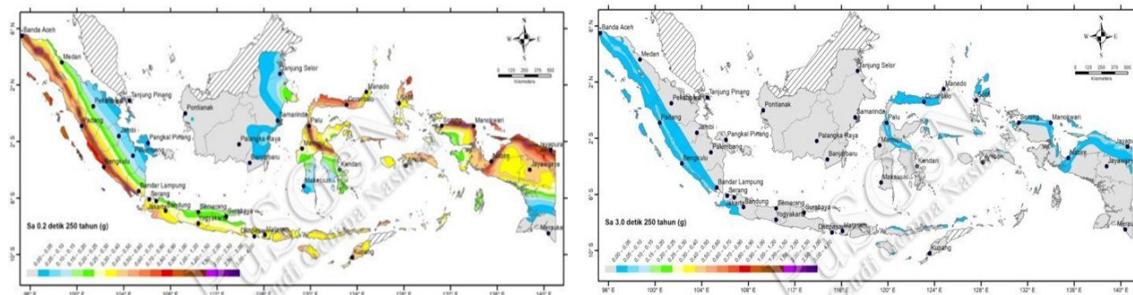
Perhitungan Sxs dan Sx1 :

$$SS = 0,850 \text{ g}$$

S1 = 0,100 gg

$$\begin{aligned}
 Fa &= 1,220 \\
 Fv &= 4,200 \\
 SXS &= 1,220 \times 0,850 \\
 SXS &= 1,037 \text{ g} \\
 SX1 &= 4,200 \times 0,100 \\
 SX1 &= 0,420 \text{ g}
 \end{aligned}$$

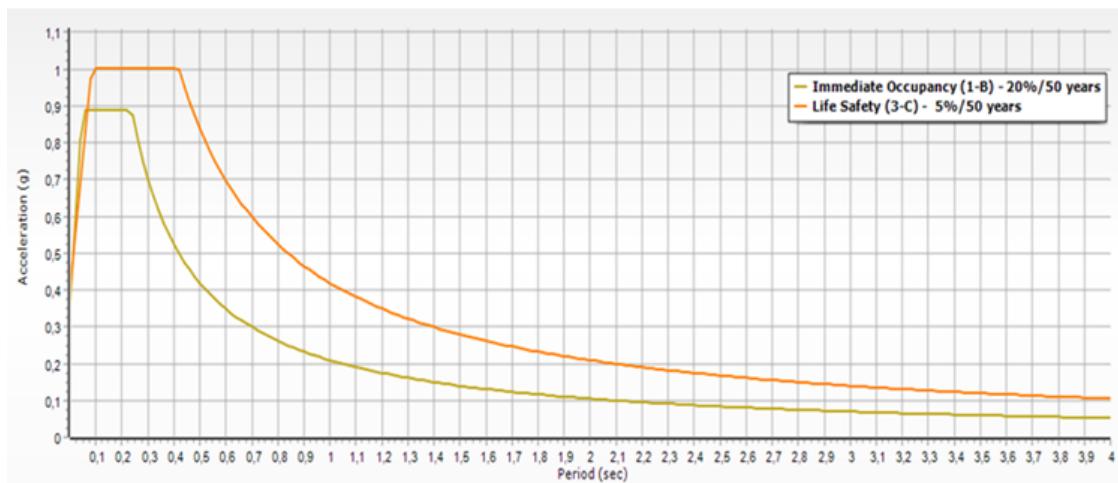
➤ BSE-1E 20%/50 periode ulang gempa 250 tahun



Gambar 6. Peta Spektrum Respon Percepatan 0,2 Detik dan 3 Detik Periode Ulang 250 Tahun

Perhitungan Sxs dan Sx1 :

$$\begin{aligned}
 SS &= 0,550 \text{ g} \\
 S1 &= 0,050 \text{ g} \\
 Fa &= 1,62 \text{ (Tabel 2.3)} \\
 Fv &= 4,2 \text{ (Tabel 2.4)} \\
 SXS &= 1,62 \times 0,550 \\
 SXS &= 0,891 \text{ g} \\
 SX1 &= 4,2 \times 0,050 \\
 SX1 &= 0,21 \text{ g}
 \end{aligned}$$

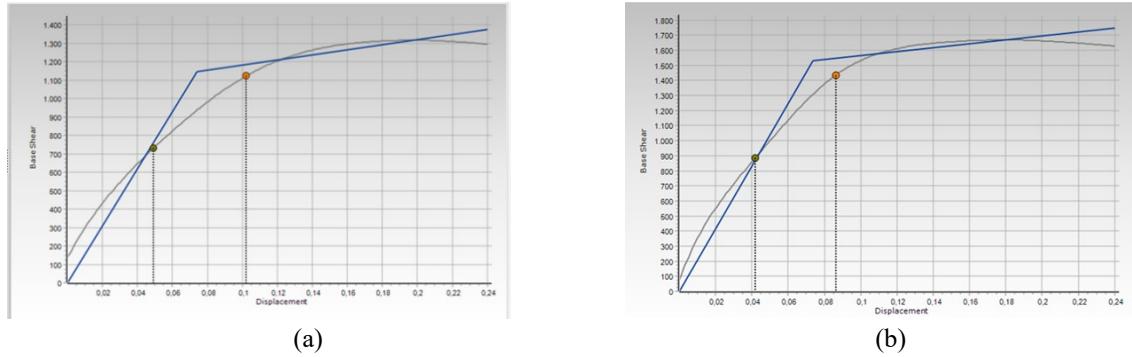


Gambar 7. Respon Spektra Akselerasi untuk Bahaya Seismik BSE-1E & BSE-2E

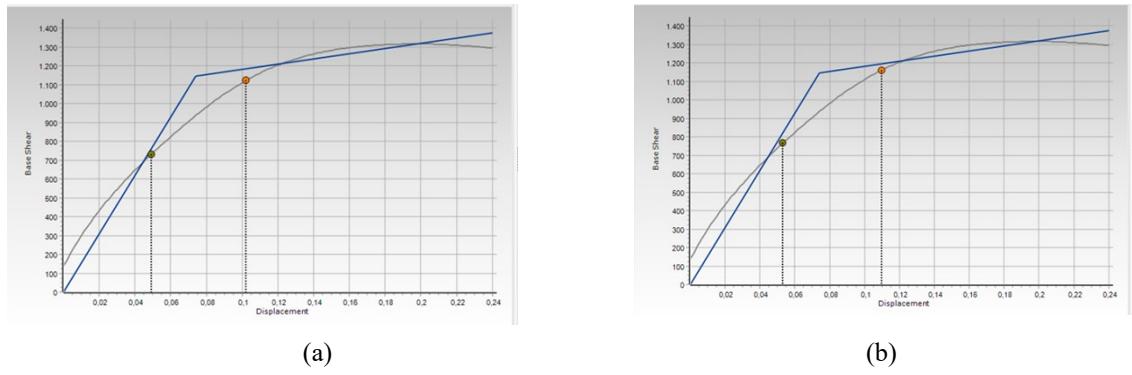
5.2 Kurva Pushover

Dalam analisis statik nonlinier (pushover analysis), model bangunan yang telah diberikan beban gravitasi kemudian dikenai tambahan pembebahan statik nonlinier. Efek nonlinieritas geometrik (P-delta effect) dihitung secara bertahap hingga mencapai perpindahan target yang ditentukan. Seluruh proses ini dianalisis secara otomatis menggunakan program Seismostruct. Kurva pushover menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan pada titik tinjau (δ) dalam suatu struktur, baik sebelum maupun setelah perkuatan.

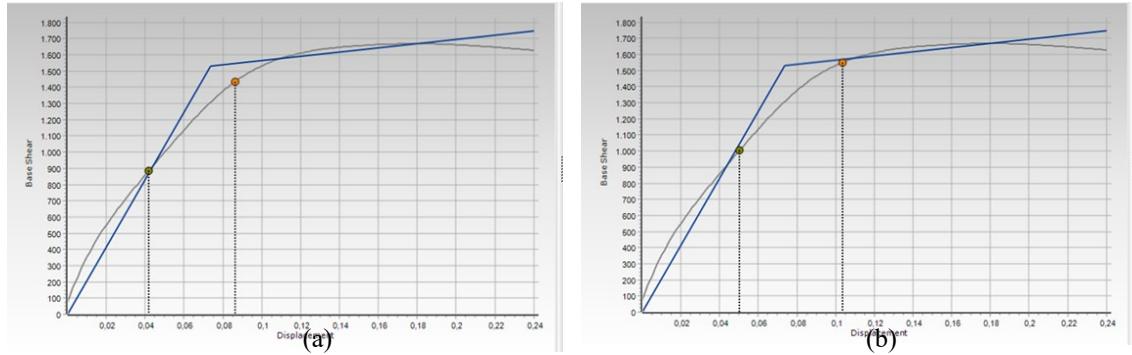
➤ Kurva Pushover Arah X



Gambar 8. (a) Kurva Pushover Arah X Lantai 1 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah X Lantai 1 Setelah Perkuatan



Gambar 9. (a) Kurva Pushover Arah X Lantai 2 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah X Lantai 1 Setelah Perkuatan

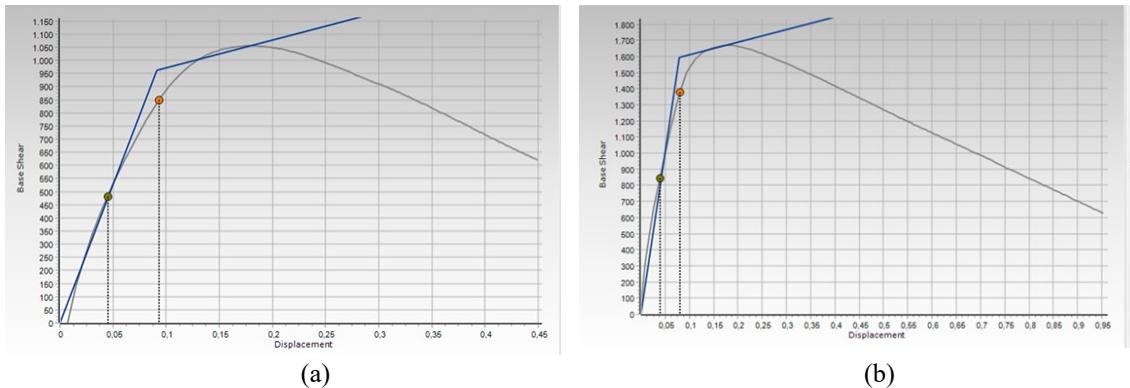


Gambar 10. (a) Kurva Pushover Arah X Lantai 3 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah X Lantai 3 Setelah Perkuatan

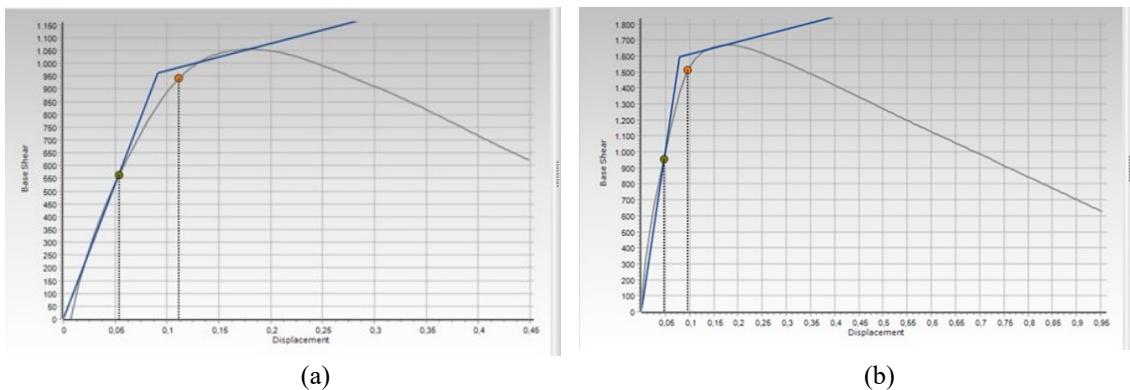
Tabel 2. Hasil Kurva Pushover Arah X Sebelum Perkuatan

Arah X Sebelum Perkuatan				
Lantai	Immediate Occupancy (m)	Base Shear (kN)	Life Safety (m)	Base Shear (kN)
1	0,041	658,4934	0,085	1021,777
2	0,049	737,1787	0,102	1126,957
3	0,053	769,8558	0,109	11588

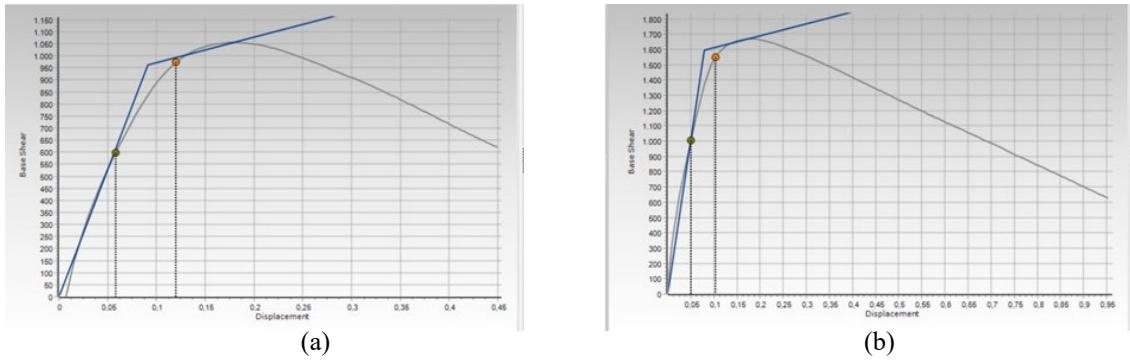
➤ Kurva Pushover Arah Y



Gambar 11. (a) Kurva Pushover Arah Y Lantai 1 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah Y Lantai 1 Setelah Perkuatan



Gambar 12. (a) Kurva Pushover Arah Y Lantai 2 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah Y Lantai 2 Setelah Perkuatan



Gambar 13. (a) Kurva Pushover Arah Y Lantai 3 Sebelum Perkuatan;
(b) Kurva Pushover Arah Y Lantai 3 Setelah Perkuatan

Tabel 3. Hasil Kurva Pushover Arah X Setelah Perkuatan

Lantai	Arah X Setelah Perkuatan			
	Immediate Occupancy (m)	Base Shear (kN)	Life Safety (m)	Base Shear (kN)
1	0,041	881,1412	0,086	1436,483
2	0,05	1000,577	0,103	1549,567
3	0,054	1067,666	0,111	1585,258

Tabel 4. Hasil Kurva Pushover Arah Y Sebelum Perkuatan

Arah Y Sebelum Perkuatan				
Lantai	Immediate Occupancy (m)	Base Shear (kN)	Life Safety (m)	Base Shear (kN)
1	0,044	439,1654	0,092	864,1346
2	0,053	533,1823	0,111	945,4585
3	0,058	621,3935	0,12	979,3016

Tabel 5. Hasil Kurva Pushover Arah Y Setelah Perkuatan

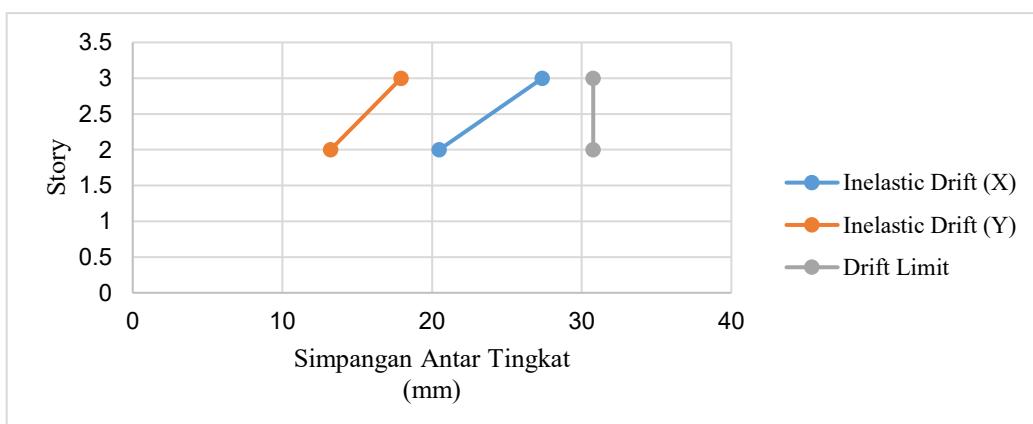
Arah Y Setelah Perkuatan				
Lantai	Immediate Occupancy (m)	Base Shear (kN)	Life Safety (m)	Base Shear (kN)
1	0,038	874,3041	0,08	1367,783
2	0,046	874,3041	0,096	1501,04
3	0,05	874,3041	0,104	1580,586

5.3 Simpangan Antar Lantai

➤ Model struktur sebelum perkuatan

Tabel 6. Simpangan Antar Lantai dan Batas Simpangan (Drift Limit) Sebelum Perkuatan

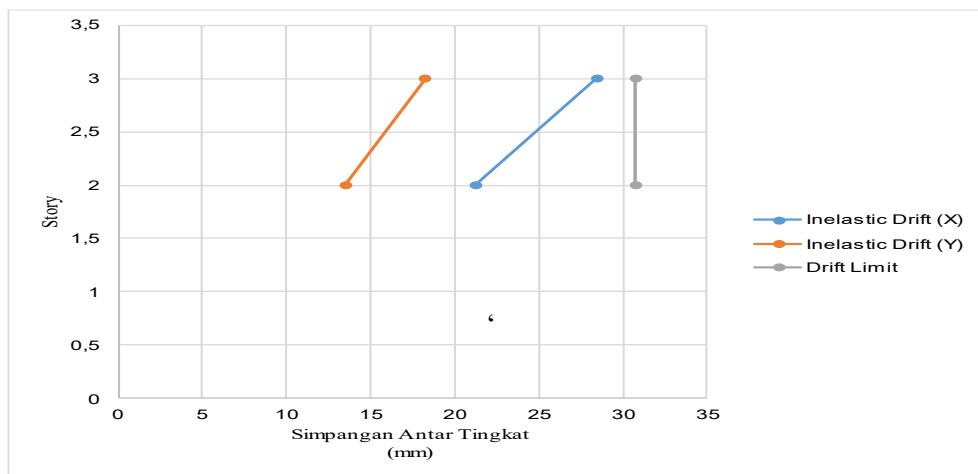
Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δex	δey	δex	δey		Δx	Δy		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
3	13,052	8,498	7,466	4,893	4000	27,375	17,941	30,769	OK
2	5,586	3,605	5,586	3,605	4000	20,482	13,218	30,769	OK

**Gambar 14.** Grafik Inelastic Drift dan Drift Limit Model Sebelum Perkuatan

➤ Model struktur setelah perkuatan

Tabel 7. Simpangan Antar Lantai dan Batas Simpangan (*Drift Limit*) Setelah Perkuatan

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δex	δey	δex	δey		Δx	Δy		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
3	13,552	8,667	7,765	4,983	4000	28,472	18,271	30,769	OK
2	5,787	3,684	5,787	3,684	4000	21,219	13,508	30,769	OK



Gambar 15. Grafik Inelastic Drift dan Drift Limit Model Setelah Perkuatan

Kedua model struktur, sebelum dan setelah perkuatan, memiliki simpangan antar tingkat (*Inelastic Drift*) yang tidak melebihi batas *Drift Limit*, sehingga memenuhi standar keamanan gempa sesuai SNI 1726-2019.

6. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis sebelum perkuatan, bangunan berada pada level kinerja Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS). Walaupun bangunan aman bagi penghuni, terdapat potensi kerusakan signifikan pada elemen non-struktural karena kapasitas gaya geser yang rendah dan perpindahan yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur lebih rentan terhadap deformasi ketika menghadapi gempa.
2. Setelah dilakukan perkuatan, bangunan tetap berada pada level kinerja Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS). Namun, perkuatan berhasil meningkatkan kapasitas gaya geser dan mengurangi perpindahan, sehingga stabilitas dan kekakuan struktur meningkat. Akibatnya, risiko kerusakan berkurang dan bangunan menjadi lebih aman serta lebih siap menghadapi gempa dengan intensitas yang lebih tinggi.

7. Saran

Berdasarkan hasil analisis, disarankan untuk melakukan pemeliharaan rutin dan pemantauan berkala pada elemen-elemen struktural, seperti kolom, balok, dan sambungan, guna menjaga kondisi optimal bangunan dan mencegah penurunan performa akibat kerusakan kecil. Selain itu, pada bangunan sejenis yang berada di daerah rawan gempa, perlu diterapkan perkuatan dengan pendekatan serupa yang telah dilakukan, untuk meningkatkan kapasitas gaya geser, mengurangi perpindahan, serta memperbaiki stabilitas dan kekakuan bangunan, sehingga risiko kerusakan dapat diminimalkan dan keselamatan penghuni lebih terjamin.

Referensi

- ASCE/SEI 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. American Society of Civil Engineers.
- ATC-40-vol-2. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2019*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727-2020*. Jakarta.
- Dewobroto, W. (2006). *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurusan Teknik Sipil - Universitas Pelita Harapan, 3(1), 7-9. Retrieved Agustus 7, 2024
- FEMA P-2006 (2018). *Example Application Guide for ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation And Retrofit of Existing Buildings*. California.
- Indeks Risiko Bencana Indonesia. (2020). *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. Retrieved Agustus 7, 2024.
- Peta Deagregasi Gempa Indonesia. (2022). *Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan*. Retrieved Agustus 7, 2024.
- Peta Sumber dan Bahaya Gempa. (2017). *Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan*. Retrieved Agustus 7, 2024