

**EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS NEGERI PADANG DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER***

Fauzan Marjanis^{1*}, Annisa Prita Melinda², Prima Zola³, dan Putri Fauziah Asri⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang,
fauzan.manel@gmail.com

Abstrak

Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang merupakan gedung beton bertulang lima lantai dan atap rangka baja dengan tinggi keseluruhan gedung 26,5 m yang berdiri di Kota Padang, salah satu kawasan dengan tingkat seismisitas tertinggi di Indonesia. Gedung ini belum pernah dievaluasi kinerja strukturalnya secara analitis terhadap SNI 1726:2019 dan analisis pushover, padahal berstatus kategori risiko IV yang dituntut tetap beroperasi pascagempa. Penelitian ini bertujuan memperoleh kurva kapasitas, titik kinerja, serta level kinerja struktur melalui analisis statik nonlinier pushover menggunakan ETABS, dengan titik kinerja ditentukan memakai metode FEMA 440 Equivalent Linearization dan level kinerja dinilai berdasarkan batas simpangan ATC-40. Struktur dimodelkan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus ($R = 8, I_e = 1,5$) pada kelas situs SD dengan $S_s = 1,42$ g dan $S_1 = 0,6$ g. Hasil analisis menunjukkan kapasitas puncak arah X sebesar 65.618,36 kN pada perpindahan atap 200,73 mm dan arah Y sebesar 40.821,04 kN pada 284,02 mm. Titik kinerja tercapai pada gaya geser 49.511,75 kN dengan perpindahan 113,35 mm untuk arah X, serta 36.906,26 kN dengan perpindahan 243,21 mm untuk arah Y. Rasio simpangan total pada titik kinerja sebesar 0,43% arah X dan 0,92% arah Y, keduanya di bawah batas 1,0% ATC-40 dan masuk dikategori Immediate Occupancy, Faktor kuat lebih aktual 5,06 dan 3,15 menunjukkan cadangan kekuatan memadai.

Kata Kunci: Gedung, Kinerja Seismik, Analisis Pushover.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari lembaga pendanaan mana pun di sektor publik, komersial, atau nirlaba.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan, semangat, dan doa yang tiada henti dari keluarga serta rekan-rekan seperjuangan, yang menjadi sumber motivasi utama dalam penyelesaian tulisan ini. Penulis juga menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang tulus kepada dosen pembimbing atas waktu, bimbingan, ilmu, serta kesabaran yang diberikan sepanjang proses penyusunan kajian ini, sehingga penulis dapat memahami secara lebih mendalam evaluasi kinerja seismik struktur melalui analisis pushover.

Etika Publikasi

Penelitian ini berupa studi analisis struktural sehingga tidak melibatkan manusia maupun hewan sebagai subjek penelitian. Seluruh sumber rujukan yang digunakan telah dicantumkan sesuai kaidah penulisan ilmiah, dan tidak terdapat konflik kepentingan dalam penyusunan artikel ini.

Pernyataan AI

Penulis memanfaatkan bantuan alat kecerdasan buatan, yaitu Claude AI dan Google AI, secara terbatas sebagai sarana brainstorming ide, penelusuran sumber jurnal, serta pengecekan silang tata bahasa naskah. Seluruh isi, interpretasi, sitasi, dan simpulan tetap ditinjau dan diperiksa ulang oleh penulis agar sesuai dengan sumber ilmiah yang dirujuk, sehingga keakuratan informasi dapat dipertanggungjawabkan sepenuhnya oleh penulis.

1. Pendahuluan

Indonesia berada pada zona pertemuan tiga lempeng tektonik aktif (Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik) yang menempatkan hampir seluruh wilayahnya pada tingkat kerawanan gempa tinggi [1]. Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi paling rawan karena berada pada jalur subduksi Indo-Australia–Eurasia sekaligus dilintasi Sesar Sumatera yang berpotensi menghasilkan gempa dangkal (<60 km) [3]. Dalam dua dekade terakhir, gempa Padang (2009, 7,6 Magnitudo) dan gempa Pasaman (2022, 6,1 Magnitudo) tercatat sebagai kejadian paling merusak di wilayah ini, dengan dampak fatal berupa korban jiwa dan kerugian ekonomi [4]. Kota Padang, sebagai ibu kota provinsi yang berhadapan langsung dengan zona subduksi aktif Mentawai-Siberut, menjadi prioritas utama evaluasi kinerja bangunan tahan gempa [5], namun masih banyak gedung yang belum dievaluasi kinerja strukturalnya secara analitis sehingga kemampuannya menahan gempa rencana tidak dapat dipastikan meskipun mengacu pada standar perencanaan terkini.

Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang, fasilitas pendidikan kategori risiko IV yang dituntut tetap beroperasi pascagempa, belum pernah diverifikasi secara analitis terhadap SNI 1726:2019 [6] meskipun digunakan aktif setiap hari oleh ratusan mahasiswa dan tenaga pendidik. Evaluasi kinerja bangunan terhadap gempa dilakukan melalui analisis pushover, yaitu metode statik nonlinier yang merepresentasikan beban gempa sebagai beban statik bertahap hingga melampaui pelelehan pertama [1] serta menggambarkan respons inelastis struktur dalam konsep performance based design [2], menghasilkan kurva kapasitas yang dikonversi ke format ADRS untuk memperoleh titik kinerja dan level kinerja berdasarkan ATC-40 [7]. Penelitian ini bertujuan memperoleh kapasitas struktur, kurva kapasitas, titik kinerja, level kinerja, dan pola distribusi sendi plastis Gedung Laboratorium Terpadu UNP berdasarkan SNI 1726:2019, ATC-40 [7], dan FEMA 440 [8], dengan ruang lingkup dibatasi pada struktur atas (balok, kolom, sistem rangka) tanpa elemen nonstruktural, sebagai dasar pertimbangan perkuatan dan rujukan evaluasi gedung sejenis.

2. Metode dan Bahan

Penelitian ini merupakan studi kasus berbasis simulasi numerik terhadap satu bangunan gedung eksisting. Dandi dkk. [3] menyebutkan bahwa simulasi numerik menjadi alternatif efektif untuk mengevaluasi kinerja struktur tanpa perlu menghadirkan kondisi gempa yang sesungguhnya. Data yang digunakan bersifat kuantitatif berupa dimensi elemen struktur, mutu material, dan besaran beban yang bekerja pada bangunan. Seluruh tahapan analisis dijalankan menggunakan perangkat lunak ETABS yang telah mengakomodasi ketentuan peraturan gempa Indonesia.

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Padang yang terletak di Jl. Prof. Dr. Hamka, Kelurahan Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang. Koordinat geografis lokasi berada pada 0°53'53,38" LS dan 100°20'59,58" BT. Data umum objek penelitian diuraikan sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| a. Fungsi bangunan | : fasilitas pendidikan |
| b. Jumlah lantai | : 5 lantai |
| c. Panjang × lebar | : 92 m × 33 m |
| d. Luas bangunan | : 4.368 m ² |
| e. Tinggi total bangunan | : 26,5 m |
| f. Struktur utama | : beton bertulang |
| g. Sistem struktur | : SRPMK |
| h. Kategori risiko | : IV |

2.2 Data Penelitian

Data primer diperoleh melalui observasi visual kondisi gedung eksisting serta pengujian sondir manual di sekitar lokasi bangunan. Data sekunder mencakup gambar kerja struktur, data material, serta peraturan dan standar yang berlaku. Istiono dkk. [9] menegaskan bahwa akurasi hasil analisis sangat bergantung pada kualitas data yang diinput ke dalam model struktur. Rincian data material yang digunakan dalam pemodelan disajikan berikut ini:

- | | |
|---|------------------------------|
| a. Mutu beton kolom, balok, dan pelat | : K-300 ($f'_c = 24,9$ MPa) |
| b. Mutu baja tulangan ulir $D > 13$ mm | : BJTD 40 ($f_y = 400$ MPa) |
| c. Mutu baja tulangan ulir $D \leq 13$ mm | : BJTD 32 ($f_y = 320$ MPa) |
| d. Mutu baja tulangan polos | : BJTP 24 ($f_y = 240$ MPa) |
| e. Dimensi kolom K1a | : 600 mm × 600 mm |
| f. Dimensi balok induk B1a | : 300 mm × 600 mm |
| g. Kelas situs | : SD (tanah sedang) |

2.3 Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020 [10] untuk beban gravitasi dan SNI 1726:2019 [6] untuk beban gempa. Berat sendiri struktur dihitung otomatis oleh ETABS berdasarkan dimensi elemen dan berat jenis material. Beban mati tambahan diperoleh dari akumulasi komponen nonstruktural yang melekat permanen pada bangunan. Beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi masing-masing ruangan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Beban gempa dihitung menggunakan metode analisis respons spektrum sesuai SNI 1726:2019. Struktur direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, dan $C_d = 5,5$ sesuai Tabel 12 SNI 1726:2019. Parameter gempa diperoleh melalui aplikasi RSA Cipta Karya (Desain Spektra Indonesia) berdasarkan koordinat lokasi gedung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan grafik hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan titik kontrol di atap yang dihasilkan dari analisis *pushover*. Kurva ini merekam seluruh riwayat perilaku struktur mulai dari kondisi elastis, munculnya sendi plastis pertama, hingga tercapainya kapasitas puncak dan penurunan pascapuncak. Data numerik tiap step pembebanan beserta jumlah sendi plastis diperoleh melalui perintah File Display Tables pada

jendela *pushover* curve. Rekapitulasi step kritis kedua arah pembebanan disajikan pada tabel 1 dan 2

Tabel 1. Base Shear dan Sendi Plastis Arah X

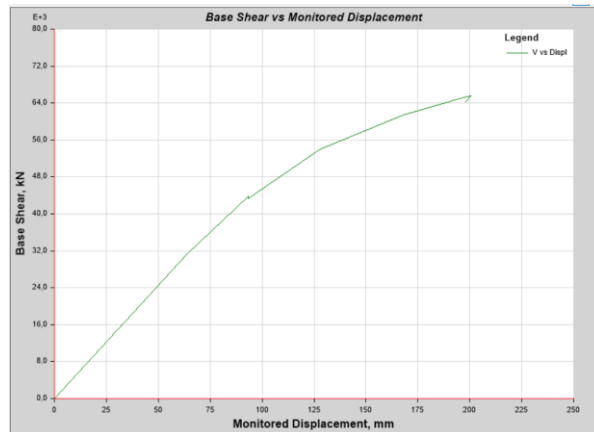
Step	Monitored Displacement (mm)	Base Force (kN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
0	0	0	2790	0	0	0
1	30	14785,29	2790	0	0	0
2	30	14785,29	2790	0	0	0
3	30,00	14735,16	2790	0	0	0
4	63,96	31272,92	2788	2	0	0
5	93,42	43798,95	2788	2	0	0
6	93,43	43302,91	2787	3	0	0
7	127,78	54009,32	2708	82	0	0
8	168,22	61373,86	2494	296	0	0
9	198,57	65386,2	2407	382	1	0
10	200,73	65618,36	2406	383	1	0
11	197,82	64156,86	2406	382	2	0

Sumber: ETABS, 2026

Tabel 2. Base Shear dan Sendi Plastis Arah Y

Step	Monitored Displacement (mm)	Base Force (kN)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP
0	0	0	2790	0	0	0
1	35	9673,84	2790	0	0	0
2	48,42	13392,99	2790	0	0	0
3	62,22	17097,25	2790	0	0	0
4	62,22	13804,55	2790	0	0	0
5	102,76	23032,03	2774	16	0	0
6	102,76	22478,48	2765	25	0	0
7	114,16	24687,78	2746	44	0	0
8	114,16	24193,54	2739	51	0	0
9	138,04	27984,17	2684	106	0	0
10	138,05	27452,39	2679	111	0	0
11	186,18	33623,42	2566	224	0	0
12	186,18	31102,05	2546	244	0	0
13	225,74	35232,39	2481	309	0	0
14	283,99	40815,14	2444	326	20	0
15	283,99	40815,14	2444	326	20	0
16	284,02	40821,04	2444	326	20	0
17	250,10	31330,57	2444	326	20	0

Sumber: ETABS, 2026



Gambar 1. Kurva Kapasitas Arah X (ETABS, 2026)



Gambar 2. Kurva Kapasitas Arah Y (ETABS, 2026)

3.1.1 Kurva Kapasitas dan Kuat Lebih Struktur

Kurva kapasitas kedua arah pembebanan menunjukkan bentuk bilinear dengan kekakuan awal (K_i) sebesar 492,84 kN/mm (arah X) dan 276,40 kN/mm (arah Y). Sendi plastis pertama terbentuk pada perpindahan 63,45 mm (arah X, step ke-4) dan 83,33 mm (arah Y, step ke-5), sedangkan kapasitas puncak (V_{max}) tercapai sebesar 65.618,36 kN pada 200,73 mm (arah X) dan 40.821,04 kN pada 284,02 mm (arah Y). Penurunan pascapuncak arah X hanya 2,23% sehingga tergolong daktail, sedangkan arah Y turun signifikan hingga 23,25% yang mengindikasikan perilaku lebih getas. Faktor kuat lebih aktual dihitung dari perbandingan gaya puncak terhadap gaya desain hasil respons spektrum,

$$\Omega_0 = V_{max} / V_{design} \quad (2)$$

menghasilkan $\Omega_{0,X} = 5,06$ dan $\Omega_{0,Y} = 3,15$, keduanya melampaui batas minimum 3,0 yang disyaratkan SNI 1726:2019 untuk sistem SRPMK. Daktilitas struktur ($\mu = \Delta_{max}/\Delta_y$) tercatat sebesar 3,16 (arah X) dan 3,41 (arah Y), keduanya berada dalam rentang 2–5 yang direkomendasikan. Rekapitulasi seluruh penanda kurva kapasitas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Penanda Kurva Kapasitas

Parameter	Arah X	Arah Y	Satuan
Kekakuan awal (K_i)	492,84	276,40	kN/mm
Gaya leleh (V_y)	31.272,92	23.032,03	kN
Perpindahan leleh (Δ_y)	63,45	83,33	mm
Gaya puncak (V_{max})	65.618,36	40.821,04	kN
Perpindahan puncak	200,73	284,02	mm
Gaya desain (V_{design})	12.968,80	12.968,96	kN

Kuat lebih (Ω)	5,06	3,15	—
Daktilitas (μ)	3,16	3,41	—

Sumber: Analisis, 2026

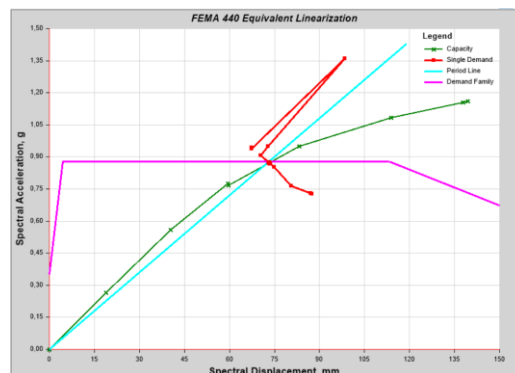
3.2 Titik Kinerja

Titik kinerja adalah koordinat pertemuan antara kurva kapasitas struktur dengan spektrum kebutuhan gempa rencana dalam format ADRS. Titik ini menjawab pada gaya geser dasar dan perpindahan berapa struktur akan bertahan ketika gempa rencana benar-benar terjadi. Penentuan titik kinerja menggunakan metode FEMA 440 *Equivalent Linearization* dengan spectrum source berupa defined function tanah SD dan faktor skala 9.810 mm/detik². Hasil lengkap titik kinerja kedua arah pembebanan disajikan pada Tabel 4.

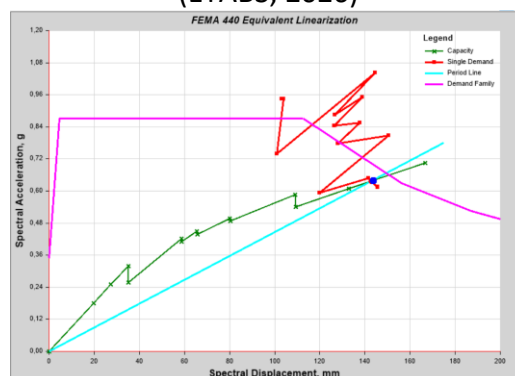
Tabel 4. Hasil Titik Kinerja Metode FEMA 440 EL

Parameter	Arah X	Arah Y	Satuan
V performance	49.511,75	36.906,26	kN
Δ performance	113,35	243,21	mm
Sa	0,87	0,64	g
Sd	73,30	142,97	mm
T secant	0,58	0,95	detik
T efektif	0,58	1,08	detik
β efektif	7,13	18,31	%
Daktilitas ADRS	1,71	3,59	—

Sumber: ETABS, 2026



Gambar 3. Kurva Spektrum Kapasitas dan Titik Kinerja FEMA 440 EL Arah X (ETABS, 2026)



Gambar 4. Kurva Spektrum Kapasitas dan Titik Kinerja FEMA 440 EL Arah Y (ETABS, 2026)

Titik kinerja arah X tercapai pada gaya geser dasar 49.511,75 kN dengan perpindahan atap 113,35 mm, sedangkan arah Y pada 36.906,26 kN dengan perpindahan 243,21 mm. Perpindahan arah Y yang lebih besar sejalan dengan kekakuan lateral yang lebih rendah dan periode efektif yang lebih panjang. Cadangan kekuatan puncak terhadap titik kinerja arah X masih cukup besar (32,5%), sedangkan arah Y jauh lebih tipis (10,6%), menunjukkan arah Y lebih mendekati kapasitas maksimumnya saat kinerja tercapai. Rasio $V_{performance}/V_{design}$ sebesar 3,82 (arah X) dan 2,85 (arah Y) tetap menunjukkan struktur mampu menahan gaya inersia jauh di atas beban desain minimum.

3.2.1 Simpangan pada Titik Kinerja

Simpangan total pada titik kinerja dihitung dari perpindahan atap ($\Delta_{performance}$), dan tinggi total bangunan $H = 26,5$ m,

$$\text{Rasio simpangan total} = \Delta_{performance} / H \quad (3)$$

Hasil perhitungan rasio simpangan tersebut dievaluasi terhadap batas deformasi ATC-40 Tabel 11-2 untuk kategori Immediate Occupancy (IO) sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Evaluasi Level Kinerja terhadap Batas ATC-40

Kriteria	Arah X	Arah Y	Batas IO	Status
Total drift	0,004278	0,009177	0,010	IO
Sendi > LS	0	0	–	IO
V_{perf}/V_{design}	3,82	2,85	–	Aman
Level kinerja	IO	IO	–	IO*

Sumber: Analisis, 2026

Rasio simpangan total sebesar 0,43% (arah X) dan 0,92% (arah Y) berada di bawah batas 1,0% ATC-40 sehingga keduanya memenuhi kategori Immediate Occupancy,

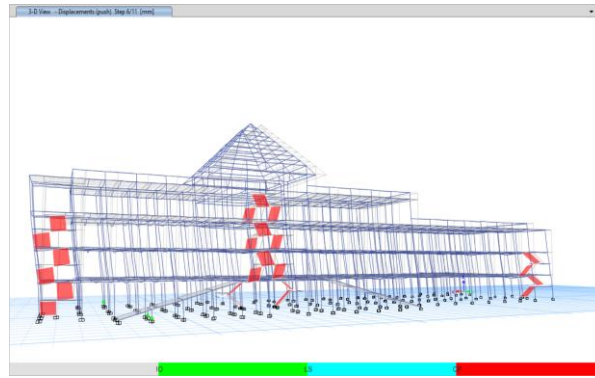
3.2.2 Distribusi Sendi Plastis

Perpindahan titik kinerja arah X sebesar 113,35 mm berada di antara step 6 (93,43 mm) dan step 7 (127,78 mm) dengan faktor interpolasi $f = 0,58$ sehingga step 6 dipilih sebagai kondisi terdekat yang konservatif. Perpindahan titik kinerja arah Y sebesar 243,21 mm berada di antara step 13 (225,74 mm) dan step 14 (283,99 mm) dengan $f = 0,30$ sehingga step 13 yang digunakan. Total sendi plastis yang ditinjau pada model struktur berjumlah 2.790 buah pada seluruh elemen balok dan kolom. Rekapitulasi status sendi plastis pada kondisi titik kinerja, yang menunjukkan proporsi kolom jauh lebih dominan dibandingkan balok, disajikan pada Tabel 6.

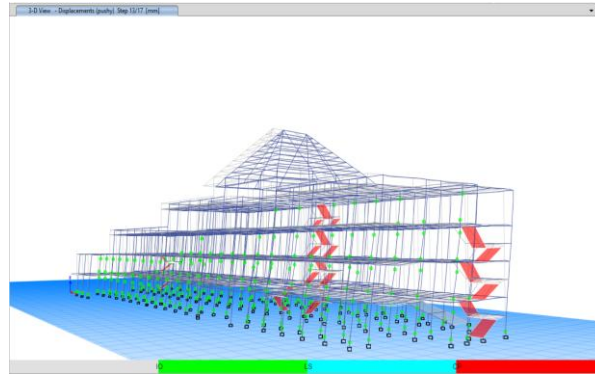
Tabel 6. Status Sendi Plastis pada Titik Kinerja

Rentang	X (bh)	% X	Y (bh)	% Y
A–IO	2.787	99,89	2.481	88,92
IO–LS	3	0,11	309	11,08
LS–CP	0	0,00	0	0,00
> CP	0	0,00	0	0,00
Total	2.790	100	2.790	100

Sumber: ETABS, 2026



Gambar 5. Sendi Plastis pada Titik Kinerja Arah X Step 6 (ETABS, 2026)



Gambar 6. Sendi Plastis pada Titik Kinerja Arah Y Step 12 (ETABS, 2026)

4. Kesimpulan

1. Titik kinerja arah X tercapai pada step 6 (93,43 mm, 43.302,91 kN) dengan deformasi akhir 197,82 mm dan gaya geser dasar 64.156,86 kN, sedangkan arah Y mencapai titik kinerja pada step 7 (114,16 mm, 24.687,78 kN) dengan deformasi akhir 250,10 mm dan gaya geser dasar 31.330,57 kN. Hal ini menunjukkan struktur arah X lebih kaku dengan kapasitas gaya geser dasar lebih tinggi, sedangkan arah Y lebih daktail dengan kemampuan deformasi lebih besar, dan keduanya menunjukkan kinerja yang memadai dalam menahan beban lateral.
2. Struktur memiliki cadangan kekuatan dan daktilitas memadai sesuai filosofi SRPMK, ditunjukkan oleh faktor kuat lebih $\Omega_o = 5,06$ (X) dan 3,15 (Y) yang melampaui syarat minimum 3,0, daktilitas $\mu_X = 3,14$ dan $\mu_Y = 2,76$ sesuai rentang rekomendasi, serta rasio SCWB 1,446 memenuhi syarat $\geq 1,2$.
3. Kinerja seismik bangunan tergolong baik, dengan performa arah X mencapai level Immediate Occupancy dengan nilai $(0,43\% < 1,0\%)$, arah Y juga mencapai level Immediate Occupancy dengan nilai total drift $(0,92\% < 1,0\%)$, tidak ada sendi plastis yang melampaui level Life Safety, dan cadangan kekuatan terhadap gaya desain mencapai 3,82 (X) dan 2,85 (Y).

5. Referensi

- [1] E. A. Krisdianti, K. Kurniawan, and D. Sungkono, "Analisis kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 studi kasus bangunan Pasar Jongke," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 29, no. 2, pp. 7–16, 2024.

- [2] N. Septian, G. Turuallo, and I. K. Sulendra, "Kinerja portal struktur gedung tahan gempa dengan sistem ganda menggunakan metode *pushover* analysis," *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, vol. 3, no. 1, pp. 35–42, 2022.
- [3] R. Dandi, M. Chairi, and R. Imani, "Evaluasi struktur Gedung Dinas Perpustakaan dan Kearsipan Kabupaten Kuantan Singingi dengan metode analisis *pushover*," *Civil Engineering Collaboration*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2025, doi: 10.35134/jcivil.v10i1.77.
- [4] B. R. Pangestu, A. Kurniawan, and M. A. Wibowo, "Evaluasi performa struktural Gedung Fakultas MIPA Universitas Jenderal Soedirman terhadap gempa dengan metode analisis *pushover*," *CIVeng*, vol. 5, no. 2, pp. 73–78, 2024.
- [5] L. J. Restu, E. Juliafad, and F. Yusmar, "Evaluasi struktur bangunan Pasar Inpres Blok IV Gedung B dengan metode *pushover*," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 3, pp. 117–127, 2021.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN, 2019.
- [7] Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)*, vol. 1. Redwood City, CA: ATC, 1996.
- [8] Federal Emergency Management Agency, FEMA 440: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Washington, DC: FEMA, 2005.
- [9] H. Istiono, Y. Septiarsilia, D. K. Fitriyah, I. Komara, and F. T. Nuciferani, "Evaluasi struktur Gedung Hotel Swiss-Belhotel Darmo Surabaya menggunakan analisis *pushover* berdasarkan SNI 1726:2019," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 97–110, 2023, doi: 10.31284/j.jtm.2023.v4i2.4553.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN, 2020.
- [11] Federal Emergency Management Agency, FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, DC: FEMA, 2000.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN, 2019.