

EVALUASI KINERJA SEISMIK MODEL GEDUNG BAJA BERSKALA DENGAN KONFIGURASI PODIUM-TOWER MENGGUNAKAN ANALISIS *PUSHOVER*

Hangen Raihan Pangestu^{1*}, Dian Ariestadi¹, dan Baiq Sri Umniati¹

¹ Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

* *E-mail Corresponding: hangrai.id@gmail.com*

Abstrak: Pembangunan gedung tinggi di daerah dengan aktivitas gempa yang tinggi memerlukan evaluasi kinerja struktur yang komprehensif, khususnya pada bangunan yang memiliki ketidakberaturan geometri. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi kinerja seismik model gedung baja dengan konfigurasi podium-tower yang memiliki ketidakberaturan vertikal akibat perbedaan kekakuan antara bagian podium dan tower. Evaluasi dilakukan menggunakan analisis statik *nonlinier pushover* berbasis simulasi elemen hingga pada model struktur berskala 1:50. Analisis *pushover* diterapkan pada dua arah utama struktur untuk memperoleh kurva kapasitas serta respons simpangan puncak bangunan. Tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan kriteria ATC-40 dan FEMA 356/440, sedangkan kontrol simpangan antar lantai dievaluasi mengacu pada SNI 1726:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan antar lantai akibat pembebanan dinamik berada di bawah batas izin, dengan simpangan maksimum terjadi pada lantai tengah struktur. Analisis *pushover* menghasilkan simpangan puncak maksimum sebesar 20,634 mm, lebih kecil dari batas simpangan ultimit 4% tinggi bangunan menurut FEMA, sehingga struktur belum mencapai kondisi keruntuhan. Evaluasi tingkat kinerja menunjukkan struktur berada pada level *Life Safety* pada kedua arah analisis. Pola pembentukan sendi plastis memperlihatkan mekanisme keruntuhan daktail yang sesuai dengan konsep strong *column-weak beam*, dengan dominasi sendi plastis pada elemen balok. Secara keseluruhan, model gedung baja podium-tower yang dianalisis memiliki kinerja seismik yang memadai pada tingkat *Life Safety* terhadap beban gempa rencana.

Katakunci: kinerja seismik, *pushover analysis*, gedung baja, podium-tower, *Life Safety*.

Abstract: The construction of high-rise buildings in regions with high seismic activity requires a comprehensive evaluation of structural performance, particularly for structures with geometric irregularities. Therefore, this study investigates the seismic performance of a steel building with a podium-tower design. Vertical irregularities arise from stiffness differences between sections. The evaluation used nonlinear pushover analysis via finite element simulation on a 1:50 scale model. Analysis in two directions produced capacity curves and peak displacement responses. The performance level was assessed using the ATC-40 and FEMA 356/440 standards. Inter-story drift control referenced SNI 1726:2019. Results showed that inter-story drift due to dynamic loading was within the limits. The maximum displacement occurred on the middle floor. The peak deflection reached 20.634 mm, which is below the FEMA limit of 4% of the building height. This means collapse had not occurred. Performance evaluation indicates Life Safety level in both directions. The plastic hinge pattern exhibits a ductile collapse mechanism, aligning with the strong column-weak beam concept. Most hinges appeared in beams. In summary, the steel podium-tower model provides adequate seismic performance at the Life Safety level for the design earthquake

Keywords: seismic performance, pushover analysis, steel building, podium-tower, Life Safety

PENDAHULUAN

Pembangunan gedung tinggi di daerah dengan aktivitas gempa yang tinggi perlu evaluasi kinerja struktur yang komprehensif (Maulidani dkk., 2025). Mengingat letak Indonesia berada di pertemuan lempeng tektonik dengan risiko gempa tinggi, maka dari itu perlu struktur bangunan gedung yang dirancang mampu menahan beban seismik secara efektif (Harita dkk., 2024). Evaluasi kinerja struktur sangat diperlukan untuk mengetahui

kapasitas struktur dalam menahan beban gempa. Salah satu metode yang sering digunakan adalah *pushover analysis*, yaitu analisis *statik non-linear* yang menunjukkan kapasitas dan perilaku struktur hingga kondisi plastis (Guettala dkk., 2025). Metode ini umum diterapkan untuk meninjau tingkat kinerja struktur berdasarkan titik perpindahan dan hubungan gaya akibat beban gempa (Darmansyah dkk., 2024).

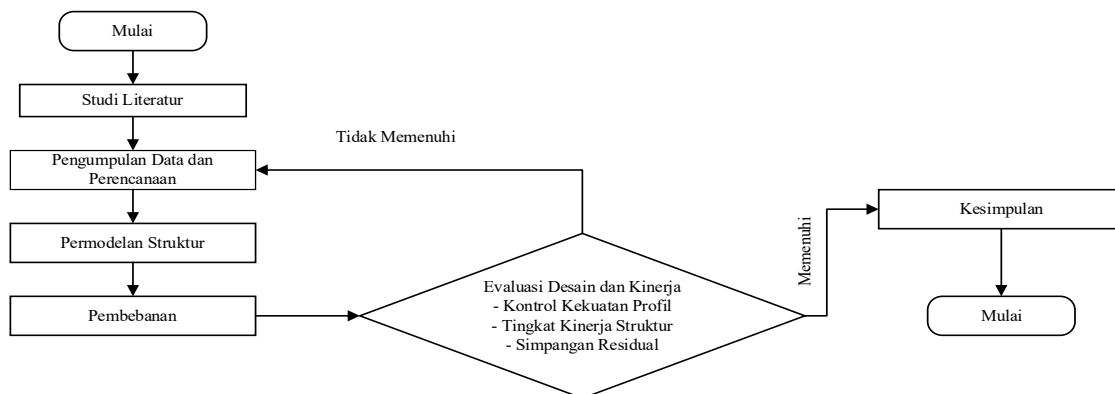
Konfigurasi podium-tower merupakan bentuk gedung yang memiliki ketidakberaturan geometri vertikal yang umum dijumpai. Konfigurasi ini memiliki karakteristik luas lantai yang lebih besar pada bagian dasar (Podium), kemudian ditumpuk dengan bangunan yang lebih ramping (tower) di atasnya (Champaneriya dkk., 2021). Karakteristik tersebut memicu perbedaan kekakuan yang signifikan dan menyebabkan distribusi beban gempa yang tidak merata (Tampubolon dkk., 2025).

Sudarman dkk., (2014) sebelumnya telah meneliti analisis *pushover* pada gedung dengan konfigurasi podium-tower dengan fokus penelitian pada struktur beton bertulang terhadap variasi jumlah lantai podium, tanpa meninjau perilaku spesifik pada material baja. Sedangkan Wen dkk., (2024) melakukan penelitian mendalam dengan fokus penerapan *base-isolation* pada bangunan multi-tower berstruktur beton komposit. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur baja gedung podium-tower skala model menggunakan analisis *pushover* dengan fokus meninjau simpangan horizontal residual dan tingkat kinerja struktur..

METODE

Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini memakai simulasi numerik berbasis elemen hingga untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung baja dengan konfigurasi tipe podium-tower tanpa melakukan pengujian skala penuh. Tahapan penelitian ini disusun secara runtut yang meliputi studi literatur, pengumpulan data perencanaan, pemodelan struktur, pembebanan, analisis kinerja struktur, hingga penarikan kesimpulan (Maulida dkk., 2025). Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan oleh **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Objek dalam penelitian berupa bangunan dengan yang memiliki ketidakberaturan vertikal akibat perbedaan kekakuan antara podium dan tower. Struktur dimodelkan menggunakan material baja dengan pendekatan skala geometrik 1:50. Untuk memvaliditas model terhadap bangunan asli, pemodelan mengacu pada prinsip kesebangunan. Dengan mengasumsikan penggunaan material yang identik pada model dan bangunan sebenarnya (skala modulus elastisitas $E_s = 1$) serta simulasi percepatan gravitasi konstan (skala percepatan $S_a = 1$), parameter dinamis dan statis menyesuaikan *Froude/Cauchy*. Berdasarkan formulasi tersebut skala kekakuan (S_k) bernilai 1:50, skala masa (S_m) diatur sebesar 1:50² atau 1:2500, dan rasio frekuensi natural model terhadap bangunan sebenarnya (S_f) memiliki hubungan $\sqrt{50}:1$ (KEBELI dkk., 2023; Wallace dan Krawinkler, 1989). Penerapan hukum penskalaan dipergunakan untuk menjustifikasi bahwa respons struktural dari hasil analisis *pushover* termasuk kurva kapasitas serta mekanisme keruntuhan dapat dinyatakan sebagai representatif terhadap perilaku bangunan sebenarnya (El Hoseny dkk., 2023). Material baja dipilih karena keunggulannya dalam segi kekuatan untuk menerima gaya lateral, serta memiliki kemudahan dalam proses konstruksi (Anggara ., 2024). Pemodelan dilakukan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 untuk mengevaluasi kapasitas struktur, dengan pendekatan elemen hingga guna merepresentasikan respons *non-linear* material dan geometri (Zega dkk., 2022).

Analisis kinerja pada gedung podium-tower akan menggunakan metode *pushover*. Metode statik *non-linear pushover* bekerja dengan cara meningkatkan beban lateral secara bertahap hingga terbentuk sendi plastis

dan mencapai keruntuhan struktur (Zebua dan Koespiadi, 2022). Hasil analisis *pushover* disajikan dalam bentuk kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan pada puncak bangunan (Pangestu dan Pratama, 2021). Berikutnya, hasil analisis akan ditinjau tingkat kinerja struktur melalui pendekatan spektrum kapasitas (ATC-40) yang di mana standar ini berkerja dengan mengevaluasi perpindahan titik pada puncak bangunan dan menganalisisnya berdasarkan batas izin yang ditentukan (Wirakusuma dkk., 2022). Batas simpangan puncak untuk ATC-40 ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Performance Level menurut ATC-40

| Parameter | Level Kinerja Struktur | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| | <i>Immediate Occupanc</i> | <i>Damage Control</i> | <i>Life Safety</i> | <i>Structural Stability</i> |
| <i>Total drift maksimum</i> | 0,01 | 0,01-0,025 | 0,025 | 0,33Vi/Pi |
| <i>Inelastic drift maksimum</i> | 0,005 | 0,005-0,15 | Tidak Dibatasi | Tidak Dibatasi |

(Sumber : ATC-40, 1996)

Batas simpangan, juga dievaluasi berdasarkan nilai perpindahan titik (FEMA 356/440) yang di tujukan **Tabel 2**. Dengan pengecekan dengan dua standar evaluasi kondisi struktur dapat diklasifikasikan ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), atau *Collapse Prevention* (CP) (Suwandi, 2019).

Tabel 2. Performance Level menurut FEMA 356/440

| Desain Gempa | Level Kinerja Struktur | | | |
|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>O Level A</i> | <i>IO Level B</i> | <i>LS Level C</i> | <i>CP Level E</i> |
| 72 Tahun (50% DBE) | | X | X | X |
| 225 Tahun (70% DBE) | | | X | X |
| 474 Tahun (DBE) | | | | X |
| 2475 Tahun (MCER) | | | | |
| Simpangan (mm) | 0-0,005 | 0,005-0,01 | 0,01-0,02 | 0,02-0,04 |

(Sumber : FEMA 356/440, 2000)

Selain kedua analisis utama di atas, diperlukan juga kontrol simpangan antar lantai agar struktur dapat dipastikan bekerja dengan layak (Tubuh dkk., 2025). Nilai simpangan antar lantai berupa perpindahan titik antara dua lantai berturut-turut yang diakibatkan oleh beban lateral. Batas izin simpangan maksimum antar lantai diatur pada SNI 1726:2019. Batas ini diberikan untuk memastikan deformasi bangunan tidak mengalami kerusakan pada elemen struktural. Batas simpangan izin antar lantai ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Simpangan Antar lantai izin.

| Struktur | Kategori risiko | | |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|
| | I atau II | III | IV |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. | 0,025 h_{zx} ^c | 0,020 h_{zx} | 0,015 h_{zx} |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d | 0,010 h_{zx} | 0,010 h_{zx} | 0,010 h_{zx} |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya | 0,007 h_{zx} | 0,007 h_{zx} | 0,007 h_{zx} |
| Semua struktur lainnya | 0,020 h_{zx} | 0,015 h_{zx} | 0,010 h_{zx} |

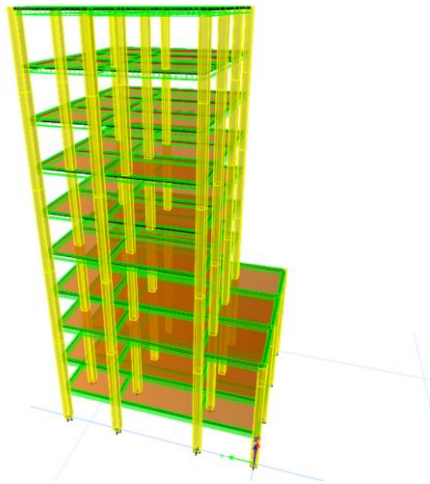
(Sumber : SNI 1726-2019)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Struktur gedung dimodelkan memakai Metode Elemen Hingga berbasis perangkat lunak. Geometri model dibagi menjadi 2, yaitu bagian podium dengan panjang dan lebar 300 mm x 300 mm dan bagian tower

dengan dimensi 250 mm x 300 mm. Total tinggi struktur gedung model adalah 700 mm. Visualisasi pemodelan struktur gedung ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pemodelan Struktur

Spesifikasi material baja ditunjukkan oleh **Tabel 4**.

Tabel 4. Spesifikasi Material Struktur

| Material | Spesifikasi | Nilai |
|------------|-----------------------------|----------------------------|
| Baja SS400 | Tagang Leleh (f_y) | 245 MPa |
| | Tegang putus (f_u) | 400 MPa |
| | Modulus Elastisitas (E) | 200000 MPa |
| | Berat Jenis | 0,000077 N/mm ³ |

Data kebutuhan profil struktur ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data Profil Struktur

| Elemen | Jenis Profil |
|--------|---|
| Balok | Balok <i>Castella</i> 6 mm x 9 mm x 1 mm x 0,8 mm |
| Kolom | Hollow 12 mm x 12 mm x 1 mm |

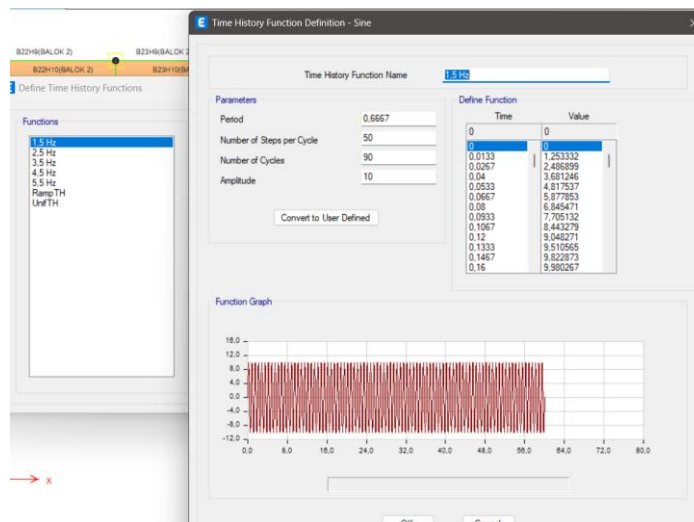
Pembebanan Struktur

Pembebanan dalam model gedung berupa pelat baja yang diasumsikan sebagai beban hidup yang diletakan pada lantai bangunan. Sedangkan beban gempa dimodelkan menggunakan *Time History* berupa getaran frekuensi dinamik pada arah sumbu y geometri bangunan Berbeda dengan penggunaan rekaman gempa, pembebanan dinamik menggunakan sinyal sintetik harmonik (fungsi sinusoidal) (Pamuji dkk., 2023). Pemilihan sinyal ini bertujuan untuk menguji respons struktur secara spesifik dan terkontrol pada setiap tingkat frekuensi. Penentuan nilai amplitudo didasarkan pada batas kapasitas maksimum dari alat uji getar (*shaking table*) yang menjadi acuan simulasi fisik model. Pemilihan beban gempa dalam rentang frekuensi 1,5 Hz – 5,5 Hz ditetapkan secara empiris yang merepresentasikan karakteristik frekuensi dominan yang umum terjadi pada gempa tektonik gedung, sehingga relevan untuk mengevaluasi kerentanan struktur gedung (Chen dkk., 2010; Kim dkk., 2021). Data beban didetailkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Data Beban Struktur

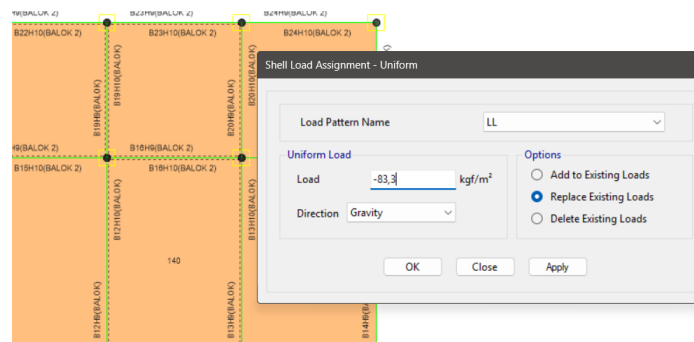
| Beban | Nilai |
|-------------|------------------|
| Beban Hidup | Podium (19,62 N) |
| | Tower (14,715 N) |
| Beban Gempa | Frekuensi 1,5 Hz |
| | Frekuensi 2,5 Hz |
| | Frekuensi 3,5 Hz |
| | Frekuensi 4,5 Hz |
| | Frekuensi 5,5 Hz |

Berdasarkan data beban diatas, berikutnya beban gempa dinamik dimasukan kedalam model struktur gedung yang ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pendefinisian Beban Getar

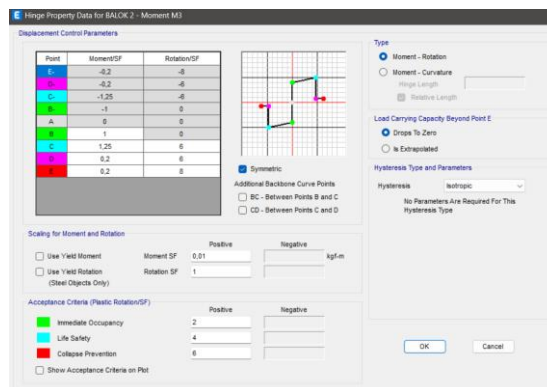
Sedangkan beban hidup diletakan pada lantai bangunan yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembebanan Beban Hidup pada Area Podium

Peletakan Sendi Plastis

Langkah berikutnya adalah peletakan sendi plastis atau *Plastic Hinge* yang diletakan pada ujung balok dan ujung kolom. Peletakan sendi plastis ini memiliki fungsi sebagai peredam energi gempa, dengan cara membiarkan elemen struktur pada titik yang telah di tentukan serta menciptakan keruntuhan daktail pada titik tertentu (Nuraga dkk., 2022). Gambar 5 menunjukan visualisasi peletakan sendi plastis pada salah satu balok struktur.



Gambar 5. Peletakan Sendi Plastis

Kontrol Simpangan Antar Lantai

Dalam evaluasi kelayakan struktur memerlukan kontrol simpangan antar lantai yang secara spesifik dikaitkan oleh pembebanan dinamik (*time history*). Evaluasi simpangan akibat beban dinamik diperuntukkan untuk memastikan deformasi bangunan pada setiap tingkat beroperasi dengan layak dan tidak mengakibatkan

kerusakan elemen struktural (Apriwelni dkk., 2021). Data simpangan antar lantai yang terjadi dan pengecekan terdapat batas izin ditunjukkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Pengecakan Simpangan Antar Lantai

| Story | Hx (mm) | Inelastic Drift (mm) | Drift Limit (mm) | Cek |
|-------|------------|-------------------------|---------------------|-----|
| Atap | 70 | 0,132 | 1,400 | OK |
| 10 | 70 | 0,179 | 1,400 | OK |
| 9 | 70 | 0,238 | 1,400 | OK |
| 8 | 70 | 0,298 | 1,400 | OK |
| 7 | 70 | 0,351 | 1,400 | OK |
| 6 | 70 | 0,396 | 1,400 | OK |
| 5 | 70 | 0,403 | 1,400 | OK |
| 4 | 70 | 0,376 | 1,400 | OK |
| 3 | 70 | 0,353 | 1,400 | OK |
| 2 | 70 | 0,204 | 1,400 | OK |

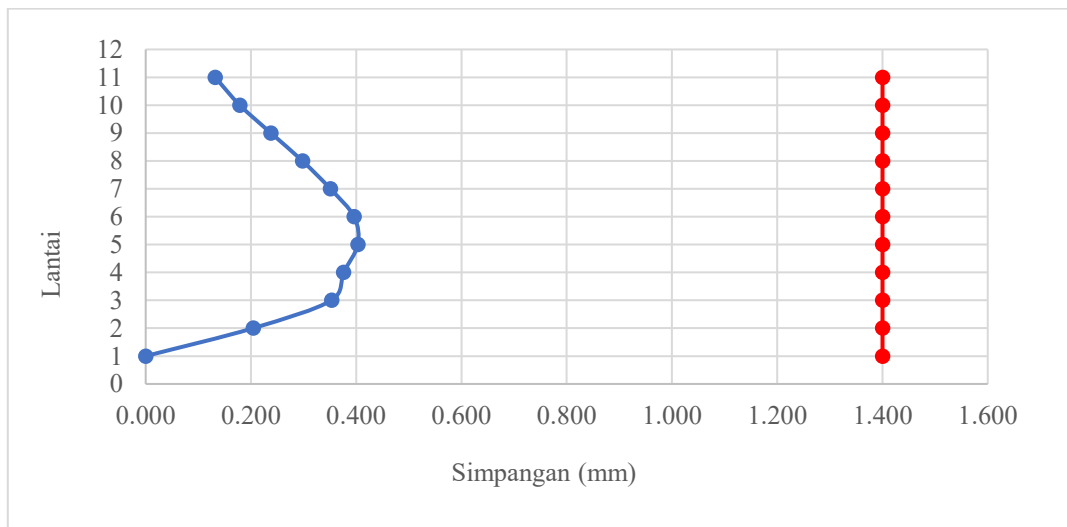
$\Delta_a = 0,020h$ pers.1

$\Delta_{Inelatis} = \delta \times C_d / I_e$ pers.2

Di mana

- Δ_a = batas simpangan izin antar lantai
- h = tinggi antar lantai
- $\Delta_{Inelatis}$ = simpangan residual antar lantai bangunan
- δ = simpangan antar lantai
- C_d = faktor pembesaran defleksi
- I_e = faktor keutamaan gempa

Dari hasil analisis tersebut nilai simpangan yang terjadi pada setiap lantai ditinjau berdasarkan batas izin yang terlampir pada SNI 1726:2019. Batas izin ini mengambil nilai ketinggian yang dikalikan dengan persentase batas yang diperbolehkan. Pada penelitian ini, nilai batas izin simpangan antar lantai yang diambil adalah 1,400 mm atau 0,020h antar lantai, Grafik simpangan antar lantai dan batas izin simpangan ditunjukkan pada **Gambar 6**.

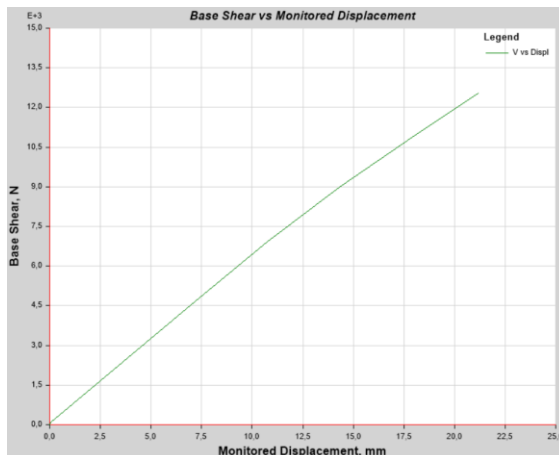


Gambar 6. Simpangan antar Lantai Akibat beban Dinamik

Dari Gambar diatas dapat disimpulkan nilai simpangan antar lantai paling besar berada di lantai 5 dengan nilai 0,403 mm.

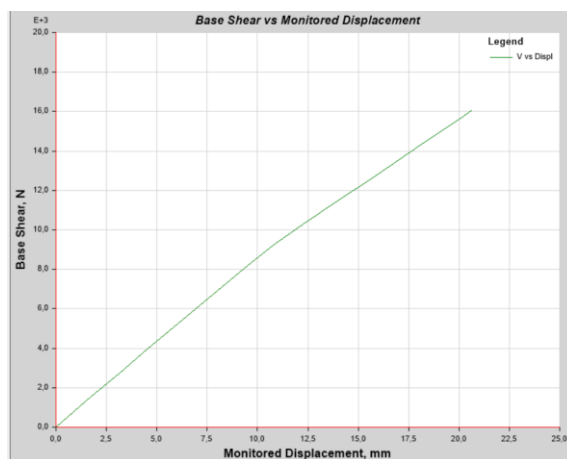
Hasil Analisis Pushover

Berdasarkan hasil analisis *pushover*, diperoleh kurva yang menggambarkan hubungan antara titik acuan pada ujung atap yang berpindah dengan gaya geser dasar. Kurva kapasitas *pushover* pada arah sumbu x ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah x

Kurva kapasitas pada arah sumbu Y ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Kurva Kapasitas Arah Y

Data perpindahan titik puncak bangunan yang didapatkan dari analisis perangkat lunak pada sumbu X geometri bangunan dilampirkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Data Kapasitas *Pushover* Arah X

| Load Case | Step | Displacement | Base Force | A-B | B-C | C-D | D-E | >E |
|-----------|----------|--------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text | Unitless | mm | N | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| Push - X | 0 | 0 | 0 | 518 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 1 | 0,021 | 42,14 | 516 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 2 | 1,739 | 1546,65 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 3 | 3,139 | 2746,72 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 4 | 4,576 | 3977,61 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 5 | 6,25 | 5410,46 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - X | 6 | 7,811 | 6746,14 | 406 | 38 | 74 | 0 | 0 |
| Push - X | 7 | 9,341 | 8055,55 | 404 | 34 | 80 | 0 | 0 |
| Push - X | 8 | 10,765 | 9229,92 | 388 | 40 | 90 | 0 | 0 |
| Push - X | 9 | 12,381 | 10356,8 | 381 | 45 | 92 | 0 | 0 |
| Push - X | 10 | 13,929 | 11427,8 | 376 | 42 | 100 | 0 | 0 |
| Push - X | 11 | 15,939 | 12817,8 | 374 | 44 | 100 | 0 | 0 |

| Load Case | Step | Displacement | Base Force | A-B | B-C | C-D | D-E | >E |
|-----------|----------|--------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text | Unitless | mm | N | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| Push - X | 12 | 18,04 | 14268,6 | 372 | 42 | 104 | 0 | 0 |
| Push - X | 13 | 20,119 | 15700,7 | 369 | 43 | 106 | 0 | 0 |
| Push - X | 14 | 20,632 | 16049,9 | 369 | 41 | 108 | 0 | 0 |
| Push - X | 15 | 20,634 | 16050,4 | 369 | 41 | 108 | 0 | 0 |

Data perpindahan titik pada arah sumbu Y geometri bangunan ditunjukkan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Data Kapasitas *Pushover* Arah Y

| Load Case | Step | Displacement | Base Force | A-B | B-C | C-D | D-E | >E |
|-----------|----------|--------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Text | Unitless | mm | N | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| Push - Y | 0 | 0 | 0 | 518 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 1 | 0,021 | 42,14 | 516 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 2 | 1,739 | 1546,65 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 3 | 3,139 | 2746,72 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 4 | 4,576 | 3977,61 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 5 | 6,25 | 5410,46 | 406 | 112 | 0 | 0 | 0 |
| Push - Y | 6 | 7,811 | 6746,14 | 406 | 38 | 74 | 0 | 0 |
| Push - Y | 7 | 9,341 | 8055,55 | 404 | 34 | 80 | 0 | 0 |
| Push - Y | 8 | 10,765 | 9229,92 | 388 | 40 | 90 | 0 | 0 |
| Push - Y | 9 | 12,381 | 10356,8 | 381 | 45 | 92 | 0 | 0 |
| Push - Y | 10 | 13,929 | 11427,8 | 376 | 42 | 100 | 0 | 0 |
| Push - Y | 11 | 15,939 | 12817,8 | 374 | 44 | 100 | 0 | 0 |
| Push - Y | 12 | 18,04 | 14268,6 | 372 | 42 | 104 | 0 | 0 |
| Push - Y | 13 | 20,119 | 15700,7 | 369 | 43 | 106 | 0 | 0 |
| Push - Y | 14 | 20,632 | 16049,9 | 369 | 41 | 108 | 0 | 0 |
| Push - Y | 15 | 20,634 | 16050,4 | 369 | 41 | 108 | 0 | 0 |

Berdasarkan data tersebut, diperoleh simpangan maksimum sebesar $\Delta_{max} = 20,634$ mm. Batas simpangan ultimit yang digunakan untuk kriteria *collapse* diambil sebesar 4% dari tinggi total bangunan sesuai dengan FEMA 350/440.

$$\Delta_{izin} = H_{total} \times \% = 28 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{ pers.3}$$

Di mana

H_{total} = tinggi total bangunan

% = batas simpangan izin yang ditentukan

Karena simpangan maksimum hasil analisis kurang dari batas izin ($\Delta_{max} = 20,634 < \Delta_{izin}$), maka kinerja simpangan model bangunan dikategorikan aman dan belum menjadi kondisi keruntuhan pada pembebanan pada analisis *pushover*.

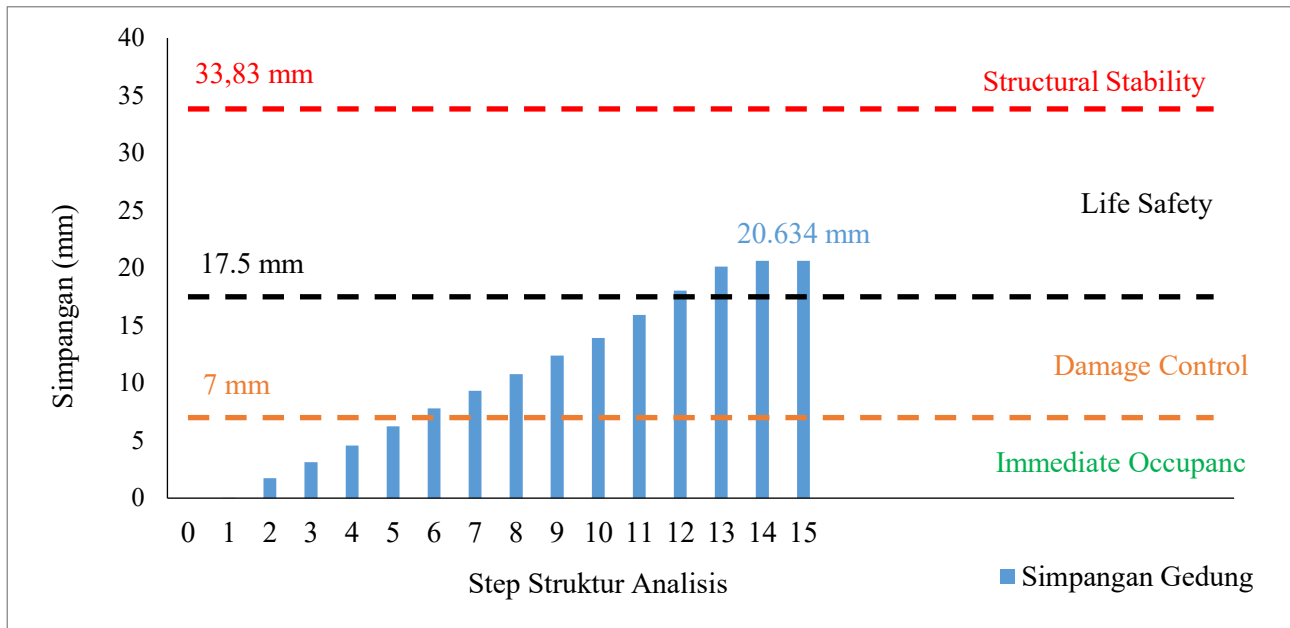
Level Kinerja Struktur

Berbeda dengan kontrol simpangan antar lantai yang meninjau respons dinamik, penentuan level kinerja struktur secara keseluruhan dievaluasi secara khusus menggunakan metode statik non-linear *pushover*. Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan rasio simpangan pada puncak bangunan terhadap tinggi total bangunan. Data kinerja struktur dijabarkan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Level Kinerja Struktur

| Parameter | Level Kinerja | | | |
|---|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | Sumbu X | Kinerja | Sumbu Y | Kinerja |
| <i>Total drift maksimum (Dt/H)</i> | 20,68/700=0,029 | <i>Life safety</i> | 20,68/700=0,029 | <i>Life safety</i> |
| <i>Inelastic drift maksimum ((Dt-DI)/H)</i> | (20,68-0,021)/700=0,029 | <i>Life safety</i> | (20,68-0,021)/700=0,029 | <i>Life safety</i> |

Grafik batas simpangan untuk setiap level kinerja struktur berdasarkan *total drift maksimum* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Batas Simpangan Total Drift Maksimum tiap Level Kinerja

Berdasarkan hasil analisis *pushover*, nilai *total drift maksimum* (Dt/H) sebesar 0,029 baik pada arah sumbu X maupun sumbu Y menunjukkan bahwa struktur berada pada level kinerja *Life Safety*. Nilai *inelastic drift maksimum* ($(Dt - D1)/H$) yang juga sebesar 0,029 pada kedua arah analisis menguatkan hasil tersebut. Mengacu pada kriteria kinerja struktur menurut ATC-40, kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan beban gempa rencana tanpa mengalami keruntuhan struktural yang signifikan.

Distribusi Sendi Platis



Gambar 10. Deformed Shape pada Step 15

Analisis pola pembentukan sendi plastis dilakukan pada potongan Grid A-1. Pada langkah ke-0, seluruh sendi berada pada level kinerja A yang menunjukkan struktur masih berperilaku elastis. Sendi plastis level B mulai terbentuk pada langkah ke-2 dengan simpangan sebesar 0,021 mm, terutama pada ujung balok dan kolom dasar. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme keruntuhan struktur telah sesuai dengan konsep *Strong Column-Weak Beam* (SCWB). Selanjutnya, pada langkah 2 hingga 5, sendi plastis level B mulai menyebar ke komponen struktur lainnya. Level kinerja C mulai muncul pada dasar bangunan di langkah ke-6 dengan simpangan 7,811 mm. Analisis berakhir pada langkah ke-15 saat seluruh sendi plastis pada balok dasar mencapai level kinerja C dengan simpangan sebesar 20,634 mm, yang menandakan struktur telah mencapai kondisi batas (*limit state*).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja seismik menggunakan analisis *pushover* pada model gedung baja dengan konfigurasi podium-tower, dapat disimpulkan bahwa struktur menunjukkan perilaku yang masih berada dalam batas kinerja yang dapat diterima. Hasil kontrol simpangan antar lantai akibat pembebanan

dinamik menunjukkan seluruh nilai simpangan berada di bawah batas izin SNI 1726:2019, dengan simpangan maksimum terjadi pada lantai tengah struktur, namun tetap dalam kondisi aman. Analisis *pushover* pada arah sumbu X dan Y menghasilkan simpangan puncak maksimum sebesar 20,634 mm, yang lebih kecil dari batas simpangan *ultimit* 4% tinggi bangunan menurut FEMA 356/440, sehingga struktur belum mencapai kondisi keruntuhan. Evaluasi tingkat kinerja berdasarkan ATC-40 menunjukkan bahwa rasio total *drift* dan *inelastic drift* berada pada level *Life Safety*, yang mengindikasikan struktur masih mampu menahan gempa rencana tanpa mengalami kerusakan struktural signifikan. Pola pembentukan sendi plastis memperlihatkan mekanisme keruntuhan yang daktail dan sesuai dengan konsep *strong column-weak beam*, dengan konsentrasi sendi plastis dominan pada elemen balok dasar. Secara keseluruhan, model gedung baja podium-tower yang dianalisis memiliki kinerja seismik yang memadai pada level *Life Safety* dan layak dari sisi respons struktur terhadap beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, J., Wahyuni, A.S., Islam, M., 2024. ANALISIS KAPASITAS PROFIL BAJA WIDE FLANGE YANG EFISIEN SEBAGAI ELEMEN BALOK, KOLOM, DAN BALOK-KOLOM PADA STRUKTUR GEDUNG (Analisis Terhadap Profil IWF dan HCS Berdasarkan SNI 1729:2015). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil* 16, 80–88. <https://doi.org/10.33369/ijts.16.2.80-88>
- Apriwelni, S., Yudi, A., Tilameo, T., 2021. Displacement Analysis Due To Time History Load Case Study Building C And D Itera. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 830, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012003>
- Champaneriya, K.B., Patel, V.B., Desai, A.N., 2021. Effect of Backstay on Tall Structure with Podium Structure. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology* 175–183. <https://doi.org/10.48175/IJARST-1724>
- Chen, Y., Zhang, W., Gao, H., 2010. Finite frequency control for building under earthquake excitation. *Mechatronics* 20, 128–142. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2009.11.001>
- Darmansyah, G.P., Maidiawati, M., Honesti, L., 2024. Evaluasi Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang dengan Metode Pushover Analysis. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain* 2, 62–70. <https://doi.org/10.25077/jbkd.2.1.62-70.2024>
- El Hoseny, M., Ma, J., Dawoud, W., Forcellini, D., 2023. The role of soil structure interaction (SSI) on seismic response of tall buildings with variable embedded depths by experimental and numerical approaches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 164, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107583>
- Guettala, Salah, Abdesselam, I., Rahmani, A.Y., Khelaifia, A., Guettala, Salim, 2025. Advancements in Pushover Analysis for Improved Seismic Performance Evaluation. *Archives of Computational Methods in Engineering* 32, 4525–4554. <https://doi.org/10.1007/s11831-025-10278-9>
- Harita, H., Daeli, S.D., Zalukhu, M.H., Zebua, D., 2024. Strategi Pengelolaan Risiko Dalam Konstruksi Gedung Tahan Gempa Di Daerah Rawan Bencana. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik* 1, 1–10. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i2.35>
- KEBELİ, Y.E., TEBERİK, Ş., AYDIN, E., ÇELİK, F., 2023. COMPARISON OF NUMERICAL ANALYSIS OF A SINGLE-SPAN STEEL PROTOTYPE STRUCTURE AND A SCALE MODEL STRUCTURE UNDER THE EFFECT OF SEISMIC LOADS. *Konya Journal of Engineering Sciences* 11, 42–54. <https://doi.org/10.36306/konjes.1386827>
- Kim, J.-K., Wee, S.-H., Yoo, S.-H., Kim, K.-H., 2021. Characteristics of the Vertical and Horizontal Response Spectra of Earthquakes in the Jeju Island Region. *Applied Sciences* 11, 10690. <https://doi.org/10.3390/app112210690>
- Maulida, A.S.M., Umniati, B.S., Sulton, M., Maulidani, A.A., 2025. Performance Based Design: Performance Analysis on Fixed Base Structure and Structures with High Damping Rubber Bearing (HDRB). *Bentang : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 13, 11–22. <https://doi.org/10.33558/bentang.v13i1.10112>
- Maulidani, A.A., Sulton, M., Umniati, B.S., Maulida, A.S.M., 2025. Tuned Mass Damper Structure and Fixed Base Structure Comparison with Performance Base Design Method. *Bentang : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 13, 56–68. <https://doi.org/10.33558/bentang.v13i1.10113>
- Nuraga, K., Putri, D.A.P.A.G., Antriksa, K., Ficher, J., 2022. Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi* 4, 98–105. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v4i2.3342>
- Pamuji, S.A., Widodo, S., Nugroho, M.S., Ma'arif, F., Akande, A.W., 2023. Comparative study of sinus earthquake forces and ground motion on structure behavioral response using linear time history analysis

- method. *Journal of Engineering and Applied Technology* 4, 52–66. <https://doi.org/10.21831/jeatech.v4i1.58666>
- Pangestu, S.F., Pratama, M.M.A., 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil* 10, 91–100. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v10i2.110>
- Sudarman, S., Manalip, H., Windah, R.S., Dapas, S.O., 2014. Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik* 2.
- Suwandi, H.P., 2019. ANALISIS GEMPA NON-LINEAR STATIC PUSHOVER DENGAN METODE ATC-40 UNTUK EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil* 1, 35. <https://doi.org/10.32585/modulus.v1i1.379>
- Tampubolon, S.P., Halawa, P., Padua, O., 2025. Analysis Behaviour of Podium-Type Buildings with Special Moment Resisting Frame (SMRF) and Dual System Using the Spectrum Response Method. *International Science and Engineering Research Journal (ISERJ)* 1, 1–13.
- Tubuh, I.K.D.K., Wirawan, I.P.A.P., Wiryadi, I.G.G., Aditya, G., Pratama, I.W.S.A., 2025. Pengaruh Kekakuan Dinding Pengisi Terhadap Simpangan Antar Tingkat pada Struktur Rangka Baja dengan Perletakan Sendi. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi* 8, 18–30. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v8i1.6124>
- Wallace, B.J., Krawinkler, H., 1989. Small-Scale Model Tests of Structural Steel Assemblies. *Journal of Structural Engineering* 115, 1999–2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1989\)115:8\(1999\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:8(1999))
- Wen, W., Lu, W., Pan, W., Xue, B., 2024. Seismic Base-Isolation Design of Multi-tower High-Rise Buildings with a Large Podium in Highly Seismic Zones. *Lecture Notes in Civil Engineering* 533 LNCE, 356–373. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66888-3_28/FIGURES/22
- Wirakusuma, I., Prasetya, M.A., Sarya, G., 2022. Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan Atc-40. *EXTRAPOLASI* 19, 35–45. <https://doi.org/10.30996/ep.v19i01.6705>
- Zebua, D., Koespiadi, 2022. Performance Evaluation of Highrise Building Structure Based on Pushover Analysis with ATC-40 Method. *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)* 3, 54–63. <https://doi.org/10.32722/arcee.v3i02.4334>
- Zega, B.C., Prasetyono, P.N., Nadiar, F., Triarso, A., 2022. Desain Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa Menggunakan SNI 1729:2020. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)* 4, 108–113. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>

