

Struktur Tahan Gempa terhadap Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember

Marzuqi Usman^{1*}, Sudarso², Ikhwanuddin³

Universitas Sunan Giri Surabaya, Kabupaten Sidoarjo-61256, Indonesia^{1,2,3}

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Analisis Pushover,
Ketidakberaturan Struktur,
SAP2000 V22, SNI 1726:2019,
Beban Gempa.

*Correspondence email:

marzuqiusman29@gmail.com

Submitted: 23-07-2025

Revised: 02-08-2025

Accepted: 03-08-2025

Published: 06-08-2025

ABSTRAK

Indonesia, yang terletak di pertemuan tiga lempeng aktif, merupakan negara rawan gempa, termasuk Kabupaten Jember yang dekat dengan sumber gempa subduksi Lempeng Indo-Australia. Kondisi ini menuntut perencanaan bangunan yang mampu bertahan terhadap beban gempa sesuai dengan standar ketahanan gempa yang berlaku. Salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan struktur terhadap gempa adalah analisis pushover, yang bertujuan untuk mengetahui gaya maksimum, deformasi, serta pola keruntuhan pada struktur akibat beban gempa. Penelitian ini berfokus pada analisis ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22, yang mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan tahan gempa. SAP2000 memungkinkan analisis statis, dinamis, linier, dan nonlinier untuk memastikan ketahanan struktur dalam menghadapi beban gempa, serta mengidentifikasi komponen kritis yang memerlukan perhatian khusus terhadap stabilitas. Hasil analisis menunjukkan adanya ketidakberaturan horizontal tipe 2 pada lantai atap akibat perubahan kekakuan lateral, serta ketidakberaturan vertikal tipe 2 (massa) karena massa efektif yang melebihi 150% lantai di bawahnya. Analisis pushover mengindikasikan potensi keruntuhan lokal pada kolom lantai dasar, namun struktur tetap stabil dengan simpangan atap dalam kategori Damage Control. Hal ini menunjukkan bahwa gedung tetap aman digunakan setelah gempa.

ABSTRACT

Keywords:

Pushover Analysis, Structural
Irregularities, SAP2000 V22, SNI
1726:2019, Earthquake Load.

Indonesia, located at the meeting point of three active pelates, is an earthquake-prone country, including Jember Regency which is close to the source of the Indo-Australian Pelate subduction earthquake. This condition requires building planning that is able to withstand earthquake loads in accordance with applicable earthquake resistance standards. One method used to weaken the resistance of structures to earthquakes is pushover analysis, which aims to determine the maximum force, freezing, and collapse patterns in structures due to earthquake loads. This study focuses on analyzing the irregularities of the horizontal and vertical structures of the Integrated Agribusiness Education Building of the Jember State Polytechnic using SAP2000 v22 software, which refers to the provisions of SNI 1726: 2019. The method used is quantitative analysis to transmit the performance of earthquake-resistant building structures. SAP2000 allows statistical, dynamic, linear, and nonlinear analysis to ensure structural resistance to earthquake loads, as well as identify important components that require special attention to stability. The analysis results show the presence of horizontal irregularities type 2 on the roof floor due to changes in lateral stiffness, as well as vertical irregularities type 2 (mass) due to the effective mass exceeding 150% of the floor below. Pushover analysis indicates the potential for local collapse in the ground floor columns, but the structure remains stable with roof drifts in the Damage Control category. This indicates that the building remains safe to use after the earthquake.

PENDAHULUAN

Indonesia sering mengalami gempa bumi karena letaknya yang berada di pertemuan tiga lempeng (lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia). Lempeng-lempeng ini dapat bertabrakan dan menyebabkan gempa tektonik kapan saja (Simanjuntak, 2020). Kabupaten Jember, merupakan salah satu wilayah yang rawan terkena gempa karena letaknya yang dekat dengan sumber gempa subduksi Lempeng Indo-Australia. Berdasarkan data yang dihimpun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Jember termasuk salah satu kabupaten yang memiliki kerawanan gempa bumi yang tinggi (Amri dalam Gunasti et al., 2024).

Mempertimbangkan kondisi tersebut, penting untuk memperhatikan persoalan yang dihadapi dalam pembangunan infrastruktur di wilayah seperti Kabupaten Jember, yaitu bagaimana mendesain bangunan yang mampu bertahan dari gempa bumi. Menurut (Zain et al., 2024), pada gempa kecil (*light earthquake*), keutuhan struktural utama bangunan diharapkan tetap kokoh dan dapat beroperasi, dengan kerusakan kecil pada komponen non-struktural dianggap dapat diterima. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang lebih jarang, struktur bangunan utama mungkin mengalami retakan kecil yang dapat diperbaiki, sedangkan elemen non-struktural yang rusak dapat diganti. Pada gempa kuat (*strong earthquake*), bangunan dapat mengalami kerusakan tanpa roboh seluruhnya, dengan tujuan utama untuk melindungi penghuni bangunan semaksimal mungkin jika terjadi gempa bumi besar (*great earthquake*).

Sebagai solusi untuk mengatasi masalah ini, berbagai penelitian menunjukkan bahwa desain gedung harus mampu bertahan terhadap berbagai jenis gempa. Bangunan yang mencakup berbagai fungsi dapat menyebabkan ketidakaturan struktur baik vertikal maupun horizontal. Penyimpangan ini biasanya timbul dari kebutuhan untuk memenuhi persyaratan tata ruang di dalam bangunan, khususnya dalam hal ketidakaturan vertikal yang mempengaruhi tingkat kekakuan lunak (Tata, 2021). Keterbatasan lahan untuk wilayah tertentu menyebabkan pembangunan arah vertikal merupakan salah satu solusi yang tepat (Prayuda et al., 2022).

Sejumlah penelitian telah menganalisis ketidakberaturan struktur dan perencanaan bangunan tahan gempa, tetapi masih terdapat kekurangan dalam analisis yang terfokus pada gedung bertingkat dengan ketidakberaturan horizontal dan vertikal. (Tiyani et al., 2022) menemukan bahwa penempatan dilatasi arah Y lebih efektif mengurangi gaya geser gempa dan gaya dalam kolom pada bangunan berdenah T, meskipun menyebabkan simpangan yang lebih besar. (Hidayati & Sabâ, 2023) menunjukkan bahwa sebagian besar struktur tidak mengalami ketidakberaturan signifikan, kecuali pada tipe tertentu yang memerlukan peningkatan gaya desain diafragma. (Ivan & Leo, 2019) mengidentifikasi bahwa ketidakberaturan massa antar lantai dapat memicu peningkatan gaya geser dan simpangan melampaui batas izin. Sementara itu, (Karunia et al., 2020) membandingkan beberapa model ketidakberaturan vertikal dan menyimpulkan bahwa variasi konfigurasi sangat memengaruhi *base shear* dan efektivitas seismik struktur. Terakhir, (Maulidani et al., 2024) melalui pendekatan eksperimen menunjukkan bahwa bangunan beraturan lebih unggul dalam hal kekakuan dan respons terhadap gaya gempa dibandingkan dengan bangunan tidak beraturan. Seluruh penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETABS dalam analisis struktur bangunan.

Penelitian terdahulu belum mempertimbangkan dampak analisa pushover terhadap pola keruntuhan dan kinerja struktur. Tujuan dari analisis pushover adalah untuk menilai gaya maksimum dan deformasi, serta untuk menentukan komponen kritis yang terlibat. Selanjutnya, komponen-komponen yang memerlukan pengawasan khusus untuk ketelitian atau stabilitas dapat ditentukan. Ketidakstabilan pada struktur merupakan hal dasar harus dihindari serta diperhatikan untuk berbagai jenis gedung (Simatupang et al., 2023). Batasan masalah penelitian ini adalah pada analisis ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal, serta evaluasi faktor-faktor yang berkaitan dengan kinerja struktur terhadap beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019. Diharapkan hasil penelitian dapat diterapkan dalam perencanaan dan desain bangunan tahan gempa di daerah lain. Penelitian ini menggunakan pemodelan dan simulasi dengan perangkat lunak SAP2000 v22 untuk menghasilkan data yang valid dan relevan bagi pengembangan infrastruktur di masa mendatang.

METODE

Metodologi penelitian adalah suatu pendekatan yang menjelaskan cara-cara sistematis dalam melakukan penelitian, yang didasarkan pada fakta dan gejala yang terjadi secara objektif (Hendra et al., 2021). Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif menggunakan metodologi yang menyeluruh, penelitian ini mendalami informasi yang diperoleh dari literatur, konsultasi dengan ahli di bidang konstruksi, dan dokumen teknis yang relevan. Fokus utamanya adalah untuk mendapatkan pengetahuan tentang bagaimana struktur dapat menahan deformasi non-linier yang disebabkan oleh beban lateral.

Sebagai studi kasus, penelitian difokuskan pada bangunan bertingkat dengan bentuk beraturan di Politeknik Negeri Jember. Analisis ini menggunakan data beban gempa respons spektrum sesuai wilayah Kabupaten Jember, serta perangkat lunak SAP2000 v22 untuk mempermudah proses analisis struktur. Selain digunakan dalam studi ini, SAP2000 memainkan peran penting dalam bidang teknik sipil dengan memfasilitasi proses desain dan analisis struktural (Batara, 2019). SAP2000 merupakan program yang digunakan untuk analisis dan desain struktur dengan metode elemen hingga, yang mampu melakukan analisis statis, dinamis, linier, maupun nonlinier. Salah satu keunggulan SAP2000 adalah tersedianya modul yang lengkap dan saling terintegrasi, sehingga setiap modul aplikasi dapat bekerja secara bersamaan dan saling mendukung satu sama lain (Zega et al., 2022).

Dalam proses perencanaan dan analisis struktur, seluruh bagian bangunan diperhitungkan secara menyeluruh untuk memastikan kekuatan dan keamanan struktur. Setiap tahapan dalam perencanaan dan analisis ini mencakup berbagai aspek, mulai dari penentuan beban yang bekerja pada bangunan, pemilihan material, hingga perhitungan dimensi elemen-elemen struktur. Pendekatan ini memungkinkan perencana untuk memprediksi respons bangunan terhadap berbagai kondisi, seperti beban gempa atau angin, sehingga dapat dirancang dengan baik untuk memenuhi

standar keamanan yang berlaku. Langkah-langkah dalam proses penelitian struktur Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember, beserta standar acuan yang digunakan, disusun sebagai berikut:

1. Mulai
2. Studi literatur
3. Persiapan data (data primer & data sekunder)
4. Pemodelan Struktur
5. Hitung pembebanan (beban gravitasi & beban lateral)
6. Input Pembebanan
7. Analisa struktur (jika analisa tidak memenuhi, kembali ke awal sebelum Pemodelan struktur)
8. Hasil analisa struktur
9. Penarikan kesimpulan
10. Selesai

Data Penelitian

1. Data umum

Nama Pekerjaan	: Review Perencanaan Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis
Lokasi Proyek	: Jl. Mastrip Kotak Pos 164 Jember 68101 Telp. (0331) 333532 - 34; Fax. (0331) 333531 Email: Politeknik@polije.ac.id Laman: www.polije.ac.id
Pemilik Proyek	: Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Politeknik Negeri Jember
Konsultan Perencana	: PT. Epithu Logica Sembada
Jenis Proyek	: Bangunan gedung

Tabel 1. Data Elemen Struktur Gedung

Mutu Beton (SNI 2847, 2019)		Mutu Baja (SNI 2052, 2024)			
		Mutu Baja Tulangan Sirip (BJTS)		Mutu Baja Tulangan Polos (BJTP)	
f'_c	30 Mpa/K-350	F_y	420 MPa	F_y	280 MPa
B_j	2400 kg/m ³	F_u	525 MPa	F_u	350 MPa
E	$4700 \sqrt{f'_c}$ 25742, 9602 Mpa				

Sumber: PT. Epithu Logica Sembada (2024)

2. Data Pembebanan Struktur Gedung

- **Beban Mati**
Dalam aplikasi SAP2000, beban ini dihitung secara otomatis berdasarkan berat jenis material yang digunakan. Nilai berat jenis yang digunakan adalah beton 2400 kg/m³ dan 7850 kg/m³ untuk baja.
- **Beban Mati Tambahn**
Beban mati tambahan merupakan beban dari elemen non-struktural yang dipasang di atas struktur utama, seperti elemen arsitektural serta instalasi mekanikal, elektrik, dan plumbing (MEP)
Beban frame:

Lantai 1	= 3,02 kN/m ²
Lantai 2 - 5	= 2,24 kN/m ²
Lantai Atap	= 1,40 kN/m ²
Parapet	= 0,56 kN/m ²

 Beban lantai:

Tabel 2. Rekapitulasi Beban Merata

Beban Merata Lantai			Beban Merata Lantai Atap		
Pasir	0,01 x 16	0,16 kN/m ²	Mortar Spesi	0,03 x 22	0,66 kN/m ²
Mortar Spesi	0,03 x 22	0,66 kN/m ²	Waterproofing	0,01 x 22	0,15 kN/m ²
Finishing Lantai	0,01 x 22	0,22 kN/m ²	Plafond + Rangka		0,25 kN/m ²
Plafond + Rangka		0,25 kN/m ²	MEP		0,25 kN/m ²
MEP		0,25 kN/m ²			
Perabot		0,15 kN/m ²			
Total		1,69 kN/m ²	Total		1,31 kN/m ²

Sumber: SNI 1727 (2020)

- **Beban Hidup**

Beban hidup adalah gaya gravitasi yang berasal dari aktivitas penghuni atau penggunaan bangunan, bersifat tidak tetap dan berubah-ubah. Beban ini dianalisis berdasarkan fungsi bangunan dan ruang di dalamnya. Beban hidup ditentukan berdasarkan (SNI 1727, 2020).

Sekolah	= 1,92 kN/m ²
Ruang kelas	= 3,83 kN/m ²
Koridor di atas	= 4,79 kN/m ²
Tangga dan jalur keluar	= 4,79 kN/m ²
Atap Datar	= 0,96 kN/m ²

Beban hujan ditentukan berdasarkan Pasal 8 (SNI 1727, 2020)

$$R = 0,294 \text{ kN/m}^2$$

- **Beban angin**

Tekanan angin positif (tekan) dan negatif (hisap) merupakan tekanan angin yang bekerja tegak lurus pada permukaan bangunan, baik dinding maupun atap. Beban angin timbul akibat tekanan udara yang mengenai permukaan bangunan dan bergantung pada banyak faktor seperti kecepatan angin, bentuk bangunan, lokasi geografis, dan ketinggian struktur. Panduan teknis mengenai hal ini diatur dalam (SNI 1727, 2020).

Tabel 3. Rekapitulasi Beban Angin Arah X

Elv.	Qz (kN/ m ²)	P Desak (kN/m ²)	P Hisap (kN/m ²)	P Desak (kN/m)	P Hisap (kN/m)
Atap	0,73	0,50	-0,19	3,98	-1,49
Lt. 5	0,69	0,47	-0,18	3,74	-1,40
Lt. 4	0,63	0,43	-0,16	3,45	-1,29
Lt. 3	0,57	0,39	-0,14	3,09	-1,16
Lt. 2	0,47	0,32	-0,12	2,57	-0,97
Lt. 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Angin Arah Y

Elv.	Qz (kN/ m ²)	P Desak (kN/m ²)	P Hisap (kN/m ²)	P Desak (kN/m)	P Hisap (kN/m)
Atap	0,73	0,50	-0,19	3,98	-1,49
Lt. 5	0,69	0,47	-0,18	3,74	-1,40
Lt. 4	0,63	0,43	-0,16	3,45	-1,29
Lt. 3	0,57	0,39	-0,14	3,09	-1,16
Lt. 2	0,47	0,32	-0,12	2,57	-0,97
Lt. 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: Data Olahan (2025)

- **Beban gempa**

Dalam penelitian ini dianalisis dua jenis beban gempa, yaitu beban gempa statik ekuivalen dan beban gempa berdasarkan respons spektrum, yang mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam (SNI 1726, 2019).

Wilayah = Kabupaten Jember, Jawa Timur

Koordinat:

Lintang = -8.1577547

Bujur = 113.716185

Kelas Situs = \bar{N} sebesar 28,94 untuk kedalaman 30 meter, ($\bar{N} > 15$) maka lokasi bangunan masuk kelas tanah sedang (SD)

Kategori Resiko = IV (Bangunan pendidikan/sekolah)

Kategori desain seismik = D - Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Parameter seismik dasar

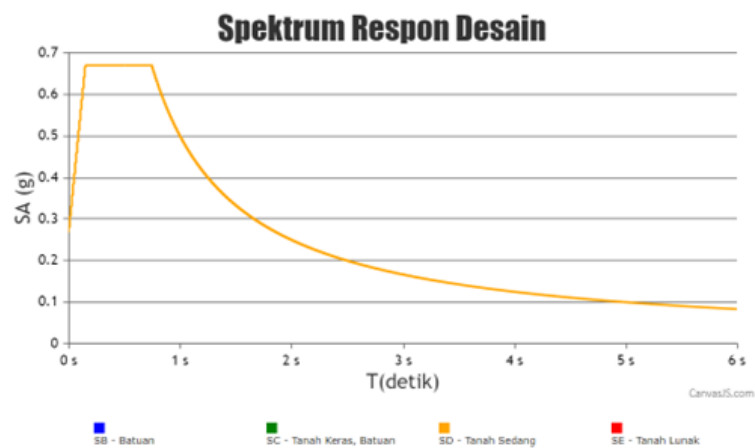
S_s = 0,873 g

S_I = 0,391 g

Koefisien situs F_A dan F_V

F_A = 1,151 g

$$\begin{aligned}
 F_v &= 1,909 \text{ g} \\
 \text{Periode } S_{MS} \text{ dan } S_{MI} & \\
 S_{MS} (\text{Periode Pendek}) &= 1,005 \text{ g} \\
 S_{MI} (\text{Periode 1 Detik}) &= 0,746 \text{ g} \\
 \text{Parameter percepatan spektral desain } (S_{DS} \text{ dan } S_{DI}): & \\
 S_{DS} &= 0,670 \text{ g} \\
 S_{DI} &= 0,497 \text{ g} \\
 \text{Penentuan Respon Spektrum} & \\
 T_0 &= 0,149 \\
 \text{Dengan:} & \\
 T_s &= 0,743 \\
 S_a &= 0,268
 \end{aligned}$$



Gambar 1. Respon Spektrum Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember
Sumber: Desain Spektra Indonesia - RSA - Kementerian Pekerjaan Umum

Berdasarkan SNI 1726:2019, koefisien modifikasi respon SRPMK adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor koefisien modifikasi, } R &= 8 \\
 \text{Faktor kuat lebih sistem, } \Omega_0 &= 3 \\
 \text{Faktor pembesaran defleksi, } C_d &= 5,5 \\
 \text{Faktor keutamaan gempa, } I_e &= 1,5 \\
 \text{Skala faktor diperoleh} &= (9,81 \times I_e)/R \\
 &= (9,81 \times 1,5)/8 \\
 &= 1,839375 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data diatas, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien respon seismik } C_s &= 0,1256 \text{ g} \\
 C_{s \text{ maksimum}} &= 0,0825 \text{ g} \\
 C_{s \text{ minimum 1}} &= 0,0442 \text{ g} \\
 C_{s \text{ minimum 2}} &= 0,0366 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Kombinasi Pembebanan

Beban mati, beban hidup, beban mati tambahan, beban angin, dan beban gempa digabungkan untuk menghitung beban yang diterima sistem struktur dari berbagai mode pembebanan. Nilai S_{DS} yang digunakan untuk beban gempa adalah 0,670, dan faktor reduksi (r) adalah 1,3.

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5(Lr atau R)
3. 1,2 DL + 1,6(Lr atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
4. 1,2 DL + 1,0 W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)
5. 1,2 DL + 1,0E + 1,0LL
6. 0,9 DL + 1,0W
7. 0,9 DL + 1,0E
8. $(1,2+0,2 S_{DS})$ DL + 1LL $\pm 0,3 \phi$ EX $\pm 1 \phi$ EY
9. $(1,2+0,2 S_{DS})$ DL + 1LL $\pm 1 \phi$ EX $\pm 0,3 \phi$ EY

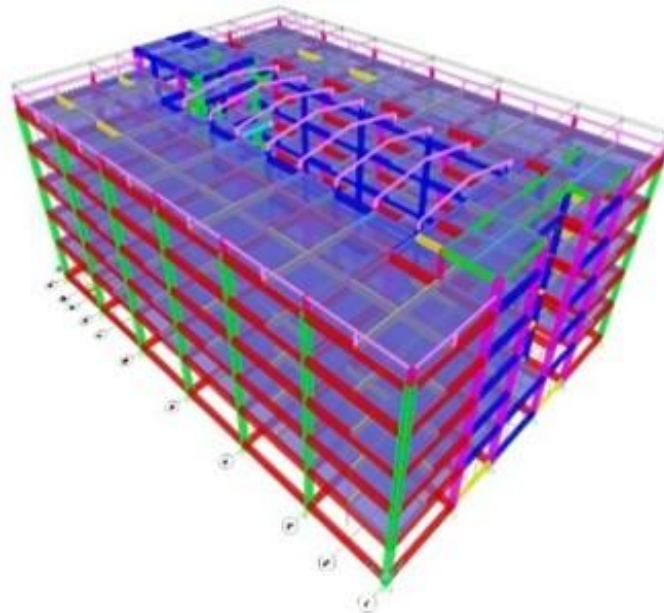
10.(0,9-0,2 S_{DS}) $DL \pm 0,3 \phi EX \pm 1 \phi EY$

11.(0,9-0,2 S_{DS}) $DL \pm 1 \phi EX \pm 0,3 \phi EY$

HASIL

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur gedung dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000 v22 agar mempermudah analisis.



Gambar 2. Pemodelan 3D Struktur

Sumber: Data Olahan (2025)

Kombinasi Ragam

Dalam SNI 1726:2019, bagian 7.9.1.3 menyatakan bahwa kombinasi ragam dapat dilakukan dengan dua metode yang berbeda: CQC (*Complete Quadratic Combination*) dan SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*).

Tabel 5. Kombinasi Ragam

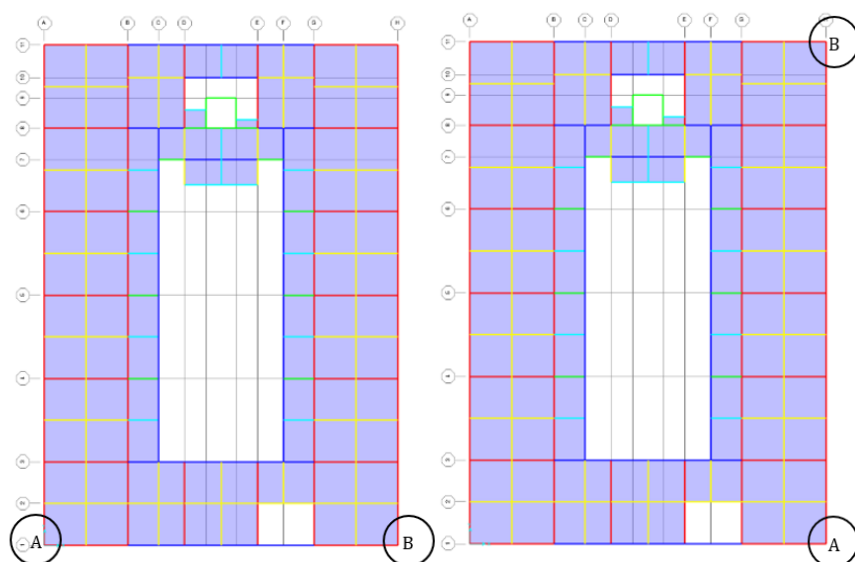
Mode	Periode	Selisih %
1	1,611	0%
2	1,288	20%
3	1,259	2%
4	1,247	1%
5	0,517	59%
6	0,411	20%
7	0,399	3%
8	0,351	12%
9	0, 351	0%
10	0,349	1%
11	0,349	0%
12	0,349	0%
Avg		10%

Sumber: Data Olahan (2025)

Rata-rata selisih periode dari mode 1 hingga mode 12 didapatkan sebesar 13%, sehingga kombinasi ragam yang digunakan yaitu CQC karena selisih antar periode $< 15\%$.

Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi (H.1a dan H.1b)



Gambar 3. Titik Acuan Ketidakberaturan H.1a dan H.1b Arah X & Y

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan H.1a dan H.1b Arah X

Ketidakberaturan H.1a Dan H.1b Arah X										
Lantai	Load Case	dA	dB	Δ_A	Δ_B	Δ_{max}	Δ_{avg}	$\Delta_{max} / \Delta_{avg}$	Cek H1.a $\Delta_{max} / \Delta_{avg} > 1,2$	Cek H1.b $\Delta_{max} / \Delta_{avg} > 1,4$
Atap	EQx	45,381	45,381	0,606	0,606	0,606	0,606	1,00	No	No
Lt, Atap	EQx	44,776	44,776	4,138	4,138	4,138	4,138	1,00	No	No
Lantai 5	EQx	40,638	40,638	7,118	7,118	7,118	7,118	1,00	No	No
Lantai 4	EQx	33,519	33,519	9,425	9,425	9,425	9,425	1,00	No	No
Lantai 3	EQx	24,094	24,094	10,733	10,733	10,733	10,733	1,00	No	No
Lantai 2	EQx	13,362	13,362	13,362	13,362	13,362	13,362	1,00	No	No
Lantai 1	EQx	0	0	0	0	0	0	0	No	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan H.1a dan H.1b Arah Y

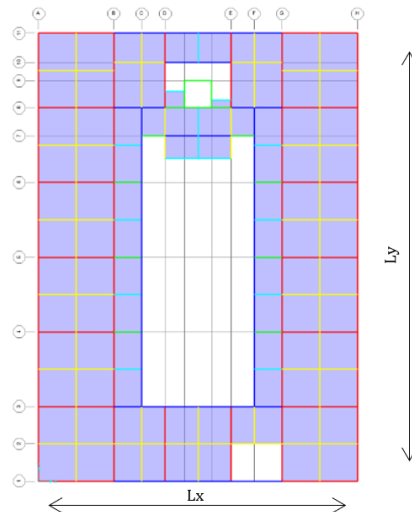
Ketidakberaturan Horizontal H.1a dan H.1b Arah Y										
Lantai	Load Case	dA	dB	Δ_A	Δ_B	Δ_{max}	Δ_{avg}	$\Delta_{max} / \Delta_{avg}$	Cek H1.a $\Delta_{max} / \Delta_{avg} > 1,2$	Cek H1.b $\Delta_{max} / \Delta_{avg} > 1,4$
Atap	EQy	81,382	81,382	0,674	0,674	0,674	0,674	1,00	No	No
Lt, Atap	EQy	80,708	80,708	6,151	6,151	6,151	6,151	1,00	No	No
Lantai 5	EQx	74,557	74,557	11,194	11,194	11,194	11,194	1,00	No	No
Lantai 4	EQy	63,363	63,363	14,908	14,908	14,908	14,908	1,00	No	No
Lantai 3	EQy	48,455	48,455	17,852	17,852	17,852	17,852	1,00	No	No
Lantai 2	EQy	30,603	30,603	30,603	30,603	30,603	30,603	1,00	No	No
Lantai 1	EQy	0	0	0	0	0	0	0	No	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Table 4 dan Tabel 5, diperoleh nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ pada (arah x dan y $< 1.2 < 1.4$). Maka, struktur gedung dinyatakan tidak mengalami ketidakberaturan H.1a dan H.1b.

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam (H.2)

Jika proyeksi denah dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi struktur pada arah yang dijelaskan, bangunan ini mengalami ketidakberaturan sudut dalam.



Gambar 4. Gambar Acuan Ketidakberaturan H.2

Sumber: Data Olahan (2025)

Perhitungan ketidakberaturan H.2 dilakukan sebagai berikut:

$$15\%.L_x = 15\%.34 = 5,10 \text{ m}$$

$$15\%.L_y = 15\%.48 = 7,20 \text{ m}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gedung yang diteliti tidak mengalami ketidakberaturan H.2, karena $15\% L_x > P_x$ dan $15\% L_y > p_y$.

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma (H.3)

Gedung ini memiliki area terbuka yang lebih kecil dari 50% dari total area diafragma tertutup, sehingga sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019, gedung ini tidak menunjukkan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

Tabel 8. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan H.3

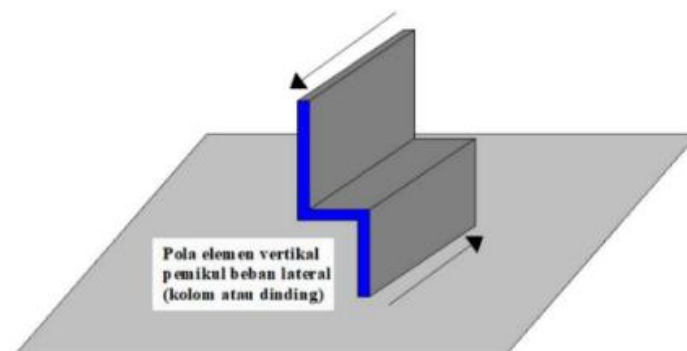
Lantai	A _{total}	A _{bukaan}	A _{ratio} %	Cek
Atap	1632	402.50	25%	No
5	1632	402.50	25%	No
4	1632	402.50	25%	No
3	1632	402.50	25%	No
2	1632	402.50	25%	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Setelah dilakukan perhitungan, diketahui bahwa gedung perkuliahan ini tidak terdapat ketidakberaturan H.3.

4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang (H.4)

Tipe H.4 tidak relevan pada gedung perkuliahan yang diteliti karena pada gedung ini tidak ditemukan diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur gedung tersebut memiliki kontinuitas yang memadai dalam sistem ketahanannya terhadap gaya lateral, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan dalam distribusi gaya yang dapat menyebabkan kejadian H.4.

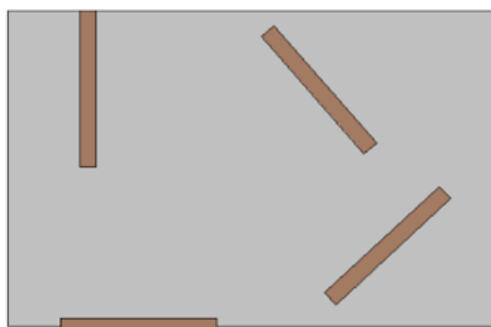


Gambar 5. Gambar Ilustarsi Ketidakberaturan H.4

Sumber: Data Olahan (2025)

5. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel (H.5)

Tipe H.5 tidak terjadi pada gedung perkuliahan yang diteliti karena seluruh struktur berada tepat di sumbu X dan sumbu Y.



Gambar 6. Gambar Ilustrasi Ketidakberaturan H.5

Sumber: SNI 1726 (2019)

Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (V.1a dan V.1b)

Kekakuan lateral suatu lantai di atasnya kurang dari 70% atau 80% dari kekakuan lateral rata-rata tiga lantai di atasnya disebut ketidakaturan kekakuan. Kondisi ini menunjukkan bahwa lantai lebih rentan terhadap gaya lateral, yang dapat melemahkan respons seismik struktur secara keseluruhan.

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.1a dan V.1b Arah X

Ketidakberaturan V.1a dan V.1b Arah X									
Lantai	F _x kN	V _x kN	U ₁ mm	U _{1i} - U _{1i-1} mm	K kN/mm	70%K _{i+1} kN/mm	Cek	80%K _{avg} kN/mm	Cek
Atap	267,84	267,84	45,38	0,61	442,19				
5	1853,76	2121,60	44,78	4,14	512,74	309,54	No	176,88	No
4	1410,01	3531,61	40,64	7,12	496,12	358,92	No	381,97	No
3	997,71	4529,32	33,52	9,43	480,56	347,29	No	403,54	No
2	623,19	5152,51	24,09	10,73	480,07	336,39	No	390,67	No
1	405,19	5557,70	13,36	13,36	415,95	336,05	No	384,25	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.1a dan V.1b Arah Y

Ketidakberaturan V.1a dan V.1b Arah Y									
Lantai	Fx kN	Vx kN	U1 mm	U1i- U1i-1 mm	K kN/mm	70%Ki+1 kN/mm	Cek	80%Kavg kN/mm	Cek
Atap	267,84	267,84	75,61	1,61	166,47				
5	1853,76	2121,60	74,00	8,59	246,87	116,53	No	66,59	No
4	1410,01	3531,61	65,41	14,19	248,97	172,81	No	165,33	No
3	997,71	4529,32	51,22	14,75	307,04	174,28	No	198,33	No
2	623,19	5152,51	36,47	15,55	331,25	214,93	No	222,40	No
1	405,19	5557,70	20,92	20,92	265,68	231,88	No	255,32	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Secara umum, seluruh lantai pada gedung ini juga menunjukkan rasio kekakuan yang memenuhi syarat, sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan tidak mengalami ketidakberaturan vertikal tipe 1a maupun 1b. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi kekakuan vertikal bangunan sudah cukup baik dan tergolong reguler, sehingga tidak memerlukan perlakuan khusus.

2. Ketidakberaturan Berat/Massa (V.2)

Ketidakteraturan massa terjadi ketika massa efektif pada suatu lantai melebihi 150% dari massa efektif lantai yang bersebelahan secara vertikal. Namun, atap dengan berat yang lebih ringan dibandingkan lantai di bawahnya tidak termasuk dalam penilaian terhadap jenis ketidakaturan ini.

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.2

Lantai	W (kN)	Massa Efektif pada Lantai Atas		Massa Efektif pada Lantai Bawah	
		$150\%W+1$	Check	$150\%W-1$	Check
Atap	1125,53		No	12558,48	V.2
5	8372,32	1688,29	No	12558,48	No
4	8372,32	12558,48	No	12558,48	No
3	8372,32	12558,48	No	12558,48	No
2	8372,32	12558,48	No	17108,62	No
1	11405,75	12558,48	No		No

Sumber: Data Olahan (2025)

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal (V.3)

Tidak ada ketidakberaturan V.3 pada bangunan ini, karena dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada setiap lantai tidak lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada lantai yang terletak di atas atau di bawahnya.

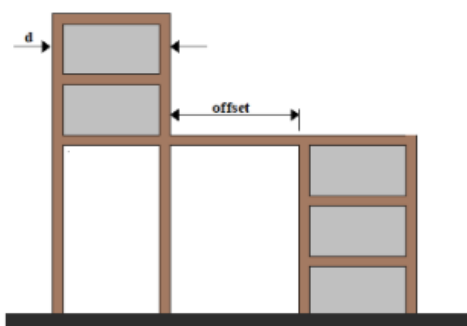
Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.3

Lantai	Dimensi Kolom mm	Check	Lantai	Dimensi Kolom mm	Check
3	600	No	6	600	
2	600	No	5	600	No
1	600	No	4	600	No

Sumber: Data Olahan (2025)

4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral (V.4)

Pada struktur ini, tidak teridentifikasi adanya ketidakberaturan V.4. Ketidakberaturan vertikal dapat muncul apabila terjadi perubahan arah elemen pemikul gaya lateral yang lebih besar dari panjang elemen tersebut, atau apabila terjadi pengurangan kekakuan pada elemen pemikul di lantai di bawahnya.



Gambar 7. Gambar Ilustarsi Ketidakberaturan V.4

Sumber: SNI 1726 (2019)

5. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (V.5a dan V.5b)

Ketidakberaturan V.5a muncul ketika kekuatan lateral pada suatu lantai kurang dari 80% kekuatan lateral pada lantai yang berada di atasnya. Sementara itu, ketidakberaturan V.5b terjadi apabila kekuatan lateral pada lantai tersebut kurang dari 65% kekuatan lateral pada lantai di atasnya.

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.5a dan V.5b Arah X

Lantai	Vx	Ketidakberaturan V.5a dan V.5b arah X			
		Kekuatan	Check 80%	Vx	Kekuatan Check 60%
Atap	267,84			267,84	
5	2121,60	7,92	No	2121,60	7,92 No
4	3531,61	1,66	No	3531,61	1,66 No
3	4529,32	1,28	No	4529,32	1,28 No
2	5152,51	1,14	No	5152,51	1,14 No
1	5557,70	1,08	No	5557,70	1,08 No

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 14. Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan V.5a dan V.5b Arah Y

Lantai	Vy	Ketidakberaturan V.5a dan V.5b arah Y			Vy	Kekuatan	Check 60%
		Kekuatan	Check 80%				
Atap	267,84				267,84		
5	2121,60	7,92	No		2121,60	7,92	No
4	3531,61	1,66	No		3531,61	1,66	No
3	4529,32	1,28	No		4529,32	1,28	No
2	5152,51	1,14	No		5152,51	1,14	No
1	5557,70	1,08	No		5557,70	1,08	No

Sumber: Data Olahan (2025)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai V_x dan $V_y < 80\%$ dan $< 60\%$, sehingga keseluruhan lantai tidak mengalami ketidakberaturan V.5a dan V.5b.

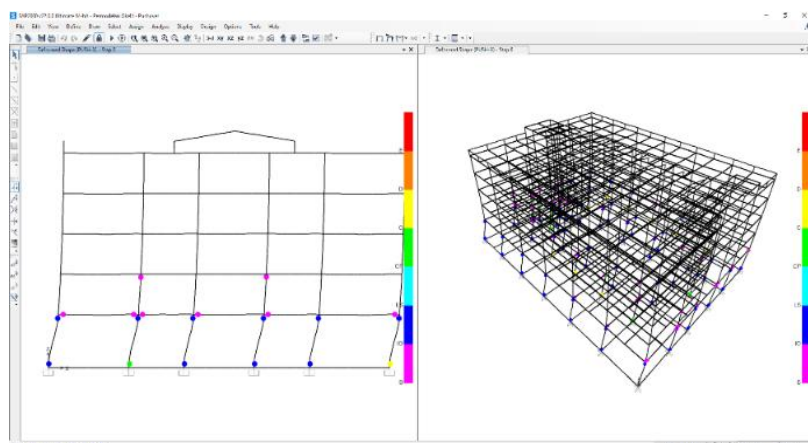
Analisa Pushover

Analisis pushover dalam perancangan ini digunakan untuk mengetahui tingkat kinerja struktur dan pola keruntuhan struktur bangunan.

1. Posisi sendi plastis

Berdasarkan hasil running SAP2000 v22 untuk arah-x, didapatkan step analisis dari 0 hingga 6. Hal serupa juga terjadi pada arah-y dengan jumlah step yang sama. Kondisi sendi plastis yang terbentuk berada pada kategori *Immediate Occupancy (IO)*, yang berarti jika terjadi gempa, hanya akan terjadi kerusakan struktural ringan. Dengan demikian, bangunan tetap aman dan dapat segera digunakan pasca gempa.

- Arah X



Gambar 8. Step 6 Arah-X

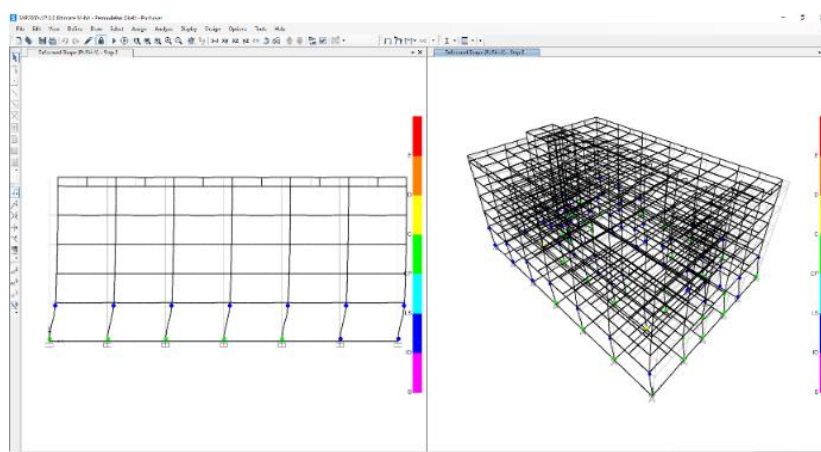
Sumber: Data Olahan (2025)

Pada Step 6 arah-x Gambar 8, dengan gaya dorong sebesar 14.286,09 kN, struktur mencapai kondisi kritis. Munculnya sendi plastis berwarna kuning pada kolom lantai 1 menandakan bahwa struktur sudah berada di ambang keruntuhan. Penambahan beban dorong sedikit saja dari titik ini dapat menyebabkan kegagalan total pada struktur.

Tabel 15. Gaya Geser Dasar Setiap Step Pushover Arah-X

Load Case	Step	Displacement	Base Force
Text	Unitless	mm	KN
PUSH-X	0	0,00	0,00
PUSH-X	1	0,08	10.213,48
PUSH-X	2	0,08	10.974,30
PUSH-X	3	0,08	10.967,84
PUSH-X	4	0,10	13.013,39
PUSH-X	5	0,11	13.494,79
PUSH-X	6	0,20	14.286,09

Sumber: Data Olahan (2025)



Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 16. Gaya Geser Dasar Setiap *Step Pushover* Arah-Y

<i>Load Case</i> <i>Text</i>	<i>Step</i> <i>Unitless</i>	<i>Displacement</i> mm	<i>Base Force</i> KN
PUSH-Y	0	0,00	0,00
PUSH-Y	1	0,08	6.524,85
PUSH-Y	2	0,09	7.588,41
PUSH-Y	3	0,09	7.586,51
PUSH-Y	4	0,10	8.622,69
PUSH-Y	5	0,11	8.868,96
PUSH-Y	6	0,21	8.336,20

Sumber: Data Olahan (2025)

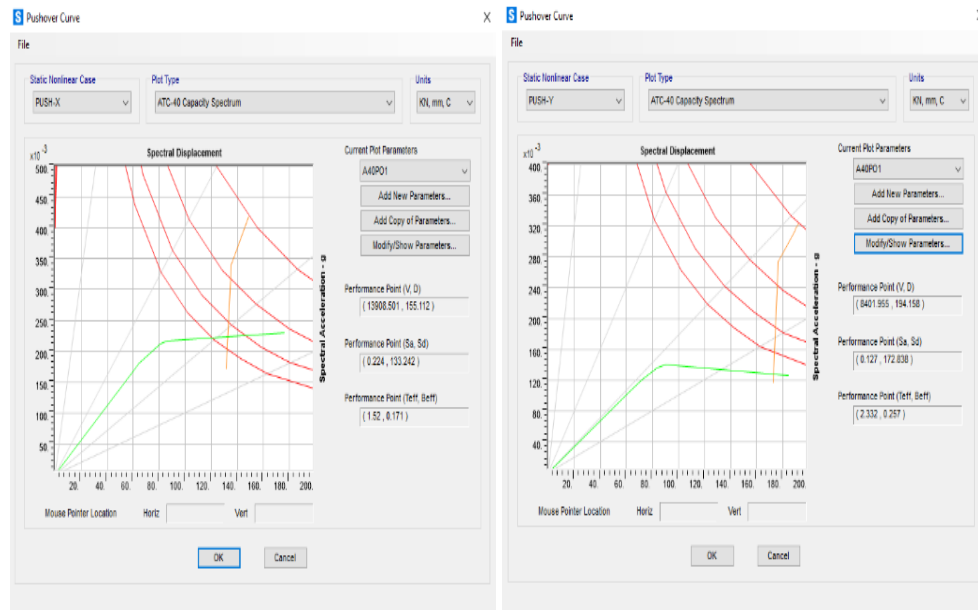
Dari hasil running SAP2000 v22 untuk arah-X dan arah-Y pada *step* 0 hingga *step* 6, terlihat bahwa sendi plastis mulai terbentuk pada kolom lantai dasar sejak *step* 1 dan berkembang secara bertahap seiring bertambahnya gaya dorong lateral. Meskipun pada *step-step* awal sendi plastis masih berada dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), seiring peningkatan beban, beberapa sendi memasuki kondisi *Life Safety* (LS) bahkan *Collapse Prevention* (CP) pada *step* 6. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar struktur tetap dalam kondisi aman dengan kerusakan ringan hingga sedang, namun pada beban maksimum, struktur mulai menunjukkan potensi keruntuhan. Secara keseluruhan, bangunan masih menunjukkan kinerja yang baik dan dapat dikategorikan dalam tingkat kinerja *Life Safety* (LS), di mana kerusakan signifikan dapat terjadi, tetapi struktur tetap berdiri dan memungkinkan evakuasi penghuni secara aman.

2. Level kinerja struktur Level Kinerja Struktur Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

ATC-40 digunakan sebagai acuan dalam menentukan level kinerja struktur. Penilaian dilakukan dengan menghitung rasio perpindahan puncak bangunan pada titik performa (*performance point*) terhadap elevasi total bangunan. Nilai parameter percepatan respons spektrum gempa diketahui sebagai berikut:

$$S_{MS} \text{ (Parameter respon percepatan pada periode 0,2 detik)} = 1,005 \text{ g}$$
$$S_{MI} \text{ (Parameter respon percepatan pada periode 1,0 detik)} = 0,746 \text{ g}$$

Selanjutnya, berdasarkan pedoman ATC-40, nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung parameter C_A dan C_V , yang merupakan faktor percepatan dan kecepatan respons spektral struktur bangunan



Gambar 10. Spektrum Kapasitas Arah X-X & Y-Y

Sumber: Data Olahan (2025)

Untuk melanjutkan analisis tingkat kinerja struktur, diperlukan nilai perpindahan atap baik pada saat *performance point* maupun pada saat *first yield* (saat beban dorong pertama). Elevasi acuan bangunan Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember adalah 23,8 meter.

- Simpangan total maksimum

$$\begin{aligned} \text{Arah X-X} &= \frac{D_t}{H_{total}} = \frac{155.11 \text{ mm}}{23800 \text{ mm}} \\ &= 0,007 \text{ mm} \dots \dots \dots (\text{Damage Control}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y-Y} &= \frac{D_t}{H_{total}} = \frac{194.16 \text{ mm}}{23800 \text{ mm}} \\ &= 0,008 \text{ mm} \dots \dots \dots (\text{Damage Control}) \end{aligned}$$

- Simpangan *inelastic* maksimum

$$\begin{aligned} \text{Arah X-X} &= \frac{D_t - D_i}{H_{total}} = \frac{155.11 \text{ mm} - 0.08 \text{ mm}}{23800 \text{ mm}} \\ &= 0,007 \text{ mm} \dots \dots \dots (\text{Damage Control}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y-Y} &= \frac{D_t - D_i}{H_{total}} = \frac{194.16 \text{ mm} - 0.08 \text{ mm}}{23800 \text{ mm}} \\ &= 0,008 \text{ mm} \dots \dots \dots (\text{Damage Control}) \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum pada arah X-X dan Y-Y, serta mengacu pada batasan kinerja struktur menurut (Applied Technology Council, 1996), diperoleh bahwa nilai simpangan pada arah X-X sebesar 0,007 dan arah Y-Y sebesar 0,008. Kedua nilai tersebut masih berada dalam batas kategori *Damage Control* (0,01–0,02). Untuk simpangan *inelastic* maksimum, diperoleh nilai sebesar 0,007 pada arah X-X dan 0,008 pada arah Y-Y, yang juga berada dalam kategori *Damage Control* (0,005–0,015). Dengan mempertimbangkan kondisi terburuk serta kecenderungan arah gempa kritis terhadap bangunan, dan fakta bahwa seluruh nilai simpangan tidak melebihi batas atas 0,02, maka secara umum tingkat kinerja struktur dapat dikategorikan sebagai *Damage Control*. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan mengalami deformasi yang masih dapat diterima tanpa menyebabkan kerusakan parah pada elemen struktural utama, dan fungsi bangunan masih dapat dipulihkan dalam waktu relatif singkat setelah gempa terjadi.

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember memiliki beberapa kondisi ketidakberaturan yang perlu menjadi perhatian dalam perencanaan struktur. Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019, gedung ini tidak mengalami ketidakberaturan horizontal tipe H.1a, H.1b, H.3, H.4, dan H.5. Namun, terdapat ketidakberaturan horizontal tipe H.2 pada lantai atap yang disebabkan oleh perubahan kekakuan lateral secara signifikan. Hal ini menandakan bahwa kekakuan struktur pada bagian atap berbeda cukup mencolok dibandingkan lantai di bawahnya, sehingga dapat memengaruhi respons bangunan saat terjadi gempa. Pada sisi vertikal, bangunan ini juga tidak mengalami ketidakberaturan tipe V.1a, V.1b, V.3, V.4, V.5a, dan V.5b. Meskipun

demikian, ditemukan ketidakberaturan vertikal tipe 2 (massa) di lantai atap. Hal ini disebabkan karena massa efektif di lantai atap melebihi 150% dari massa lantai di bawahnya. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan risiko saat struktur mengalami beban gempa, sehingga perlu dicermati dalam evaluasi kinerja struktur agar bangunan tetap aman dan fungsional.

Pada analisis pushover, diperoleh bahwa sendi plastis pertama terbentuk pada Step 1 dengan gaya dorong sebesar 10.213,48 kN di arah-X dan 6.524,85 kN di arah-Y. Ketika gaya lateral terus meningkat, sendi plastis mulai berkembang di beberapa elemen struktur hingga mencapai gaya dorong maksimum sebesar 14.286,09 kN di arah-X dan 8.336,20 kN di arah-Y. Dalam proses ini, sebagian kolom pada lantai dasar memasuki kondisi *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP). Temuan ini mengingatkan pentingnya perencanaan ulang atau strategi perkuatan pada elemen yang mengalami deformasi plastis berlebih, agar performa struktur tetap aman saat terjadi gempa kuat. Selain itu, simpangan atap maksimum yang terjadi dalam analisis pushover berada di angka 0,007 di arah-X dan 0,008 di arah-Y. Nilai tersebut masih dalam batas kategori *Damage Control*, yang berarti struktur masih mampu menjaga stabilitas dan mencegah kerusakan berat setelah gempa, sehingga gedung diperkirakan tetap dapat digunakan dengan aman pasca kejadian gempa.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap beban gempa menggunakan SNI 1726:2019, Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember tidak mengalami ketidakberaturan horizontal tipe H.1a, H.1b, H.3, H.4, dan H.5, namun terdapat ketidakberaturan horizontal tipe H.2 pada lantai atap. Secara vertikal, tidak ditemukan ketidakberaturan tipe V.1a, V.1b, V.3, V.4, V.5a, dan V.5b, tetapi ada ketidakberaturan vertikal tipe V.2 (massa) pada lantai atap. Temuan ini perlu menjadi perhatian dalam perencanaan dan evaluasi kinerja struktur. pada analisis pushover, struktur gedung menunjukkan potensi keruntuhan lokal pada kolom lantai dasar, dengan sebagian besar sendi plastis dalam kondisi *Immediate Occupancy* (IO) dan beberapa memasuki *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP). Namun, struktur tetap stabil dan berfungsi dengan baik setelah gempa tanpa kerusakan signifikan.

Dalam penelitian ini, perancangan tulangan untuk elemen-elemen struktur seperti balok pengikat (*tie beam*), balok, kolom, dan pelat lantai belum dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian berikutnya disarankan agar seluruh elemen tersebut ikut dianalisis dan direncanakan, guna memperoleh hasil yang lebih detail. Penggunaan perangkat lunak alternatif dengan fitur yang lebih terkini dan mendukung pembaruan regulasi terkini, sehingga hasil analisis dapat dibandingkan dan diuji secara lebih akurat. Selain itu, sebagai pelengkap *analisis pushover*, disarankan untuk melakukan kajian lanjutan menggunakan metode *Nonlinear Time History Analysis* agar diperoleh gambaran perilaku struktur yang lebih mendekati kondisi sebenarnya saat terjadi gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council. (1996). *ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* (Vol. 1). Applied Technology Council, California.
- Batara, I. (2019). *Modul Pelatihan Program SAP2000*. Makassar.
- Gunasti, A., Satoto, E. B., Sanosra, A., & Utomo, A. P. (2024). Penambahan Keahlian Tukang Bangunan Mengaplikasikan Teknologi Fero semen Sebagai Bentuk Kesiapsiagaan Menghadapi Bencana Gempa Bumi. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(2), 1947–1956. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.21799>
- Hendra, A., Ishak, I., & Bastian, E. (2021). Analisis Perencanaan Struktur Atas Gedung Sosial Budaya Pada Kawasan Islamic Centre Kota Padang Panjang. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(1), 130–136. <https://doi.org/10.33559/err.v1i1.1102>
- Hidayati, N., & Sabâ, M. R. (2023). Analisa Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Pada Struktur Gedung Beton Bertulang. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(2), 235–243. <https://doi.org/10.22225/pd.12.2.7653.235-243>
- Ivan, L., & Leo, E. (2019). Analisis Dinamik Perilaku Gedung Dengan Ketidakberaturan Massa Pada Masing-Masing Tingkat Terhadap Beban Gempa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 245. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5836>
- Karunia, R., Baehaki, B., & Fathonah, W. (2020). Pengaruh Variasi Model Ketidakberaturan Vertikal pada Gedung Bertingkat Tinggi terhadap Respons Seismik dengan Analisis Respons Spektrum. *Jurnal Fondasi*, 9(1). <https://doi.org/10.36055/jft.v9i1.7588>
- Maulidani, A. A., Muhammad, D. F., Rahman, M. A., & Santoso, E. (2024). Studi Perbandingan Performa Ketidakberaturan Horizontal Bangunan Terhadap Beban Gempa. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(2), 932–940. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i2.4090>
- Prayuda, H., Wilasamba, O., Saleh, F., Maulana, T. I., & Firdaus, F. (2022). Evaluasi Perilaku Seismik Akibat Ketidakberaturan Vertikal pada Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Tinggi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(2), 178–191. <https://doi.org/10.14710/mkts.v28i2.41765>

- Simanjuntak, P. (2020). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan - CENTECH*, 1(1), 44–53. <https://doi.org/10.33541/cen.v1i1.1425>
- Simatupang, F. O., Kurniawan, R., & Haris, S. (2023). Analisis Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Untuk Berbagai Variasi Tinggi Bangunan. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 413. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v6i2.350>
- SNI 1726. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 1727. (2020). *Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 2052. (2024). *Baja Tulangan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 2847. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Tata, A. (2021). Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Ketidakberaturan Vertikal Kekakuan Tingkat Lunak Dengan Analisis Berbasis Kinerja. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 259. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i2.475>
- Tiyani, L., Amalia, Rezki Nur Fadlli, & Jonathan Saputra. (2022). Respon Struktur Akibat Penempatan Dilatasi Pada Bangunan Dengan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 9(1). <https://doi.org/10.33197/jitter.vol9.iss1.2022.951>
- Zain, A. M., Widodo, E., & Arlangga, M. N. (2024). Analisa Dinamis Pada Portal Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2019 Wilayah Kota Palu. *Jurnal Surya Teknik*, Juni, 1(1), 27–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.31934/jst.v1i1.4608>
- 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(2), 108–113. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p108-113>