

ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG *LEARNING SOLUTION* BPKP CIAWI BOGOR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER*

Aldi Husni Abdillah¹, Yanti Defiana², Taufik Martha³.

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Galuh

Email : aldihusniabdillah20@gmail.com, yanti.defiana@gmail.com, taufikmartha90@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is geographically located in the Pacific Ring of Fire, an area where three of the world's major tectonic plates converge: the Indo-Australian, Eurasian, and Pacific plates. This geographical condition renders Indonesia highly susceptible to earthquake risks. Consequently, evaluating the seismic performance of building structures is of paramount importance. Pushover analysis is an effective method for assessing the seismic performance of structures and identifying potential structural weaknesses, thereby providing valuable information for risk mitigation and enhancing building safety.

This study aims to analyze the structural performance of the BPKP Learning Solution Building in Ciawi, Bogor, using the pushover analysis method. The evaluation is conducted based on the Capacity Spectrum Method (CSM) in accordance with ATC-40 regulations and the Displacement Coefficient Method (DCM) as per FEMA 356 and FEMA 440 guidelines, utilizing SAP2000 software.

The results of the pushover analysis indicate that the Learning Solution Building achieves an Immediate Occupancy performance level. This suggests that even when subjected to seismic loading, the structure does not sustain significant damage to its structural components. The building's stiffness and strength remain largely unchanged from pre-earthquake conditions, thus fulfilling the primary principle of earthquake-resistant building design.

Keywords : Earthquake, Pushover analysis, Performance level, ATC-40, FEMA 356/440

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak di wilayah lingkaran api pasifik, yaitu wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik dunia seperti lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Kondisi ini menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana letusan gunung berapi, tsunami dan gempa bumi. Selain itu, di Indonesia terdapat lima patahan bumi terbesar, seperti patahan Semangko yang ada di pulau Sumatra, patahan Sorong dan patahan Palu Kuro di Sulawesi Tengah, patahan Kendeng dari Semarang hingga barat Jawa Timur, dan patahan Opak di Yogyakarta. Selain patahan bumi, kita mengenal dengan istilah "sesar", yang merujuk pada patahan pada lapisan penyusun bumi yang bergerak, yang mana terbagi menjadi *footwall* (lapisan bawah) dan *hanging wall* (lapisan atas). Di Indonesia, tercatat setidaknya ada 295 sesar

aktif. Pulau Jawa sendiri memiliki 37 sesar aktif, salah satunya yang terbesar adalah sesar Lembang (BPBD Banyumas, 2023).

Keberadaan patahan/sesar ini menjadikan Indonesia sangat rawan terhadap ancaman bencana gempa bumi. Potensi gempa yang tinggi ini menjadi ancaman serius bagi struktur bangunan di Indonesia, termasuk di Kabupaten Bogor. Gempa dengan kekuatan 5,6 magnitudo pada tahun 2022 yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Cugenang telah mengakibatkan korban jiwa dan kerusakan bangunan yang signifikan, termasuk di wilayah Kabupaten Bogor. Mengingat risiko ini, perencanaan bangunan di daerah rawan gempa perlu mempertimbangkan aspek fleksibilitas dan kekuatan. Konsep terbaru dalam perencanaan dan evaluasi bangunan terhadap gempa adalah *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE) (Indah et al., 2020). Hal ini mempertimbangkan *performance* struktur berupa analisis level keruntuhan atau level

kinerja yang dicapai struktur pada saat terjadi beban gempa (Retno et al., 2022).

Salah satu metode analisis dalam konsep PBEE adalah analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan suatu analisis statik *non-linier* dimana suatu bangunan diberi beban lateral statik pada struktur dan meningkatkan faktor pengali secara bertahap sampai suatu target perpindahan lateral tercapai (Indah et al., 2022). Metode ini menggunakan prosedur seperti *Capacity Spectrum Method* (CSM) dari ATC-40 dan *Displacement Coefficient Method* (DCM) dari FEMA 356 dan FEMA 440.

Pada Tahun 2023 Badan Pengawasan Keuangan dan Pembangunan (BPKP) membangun Gedung *Learning Solution* di Kabupaten Bogor. Mengingat gedung ini akan dimanfaatkan sebagai fasilitas pendidikan, perancangan struktur yang tahan gempa menjadi aspek yang sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini tidak hanya untuk menjamin keamanan dan keselamatan penggunaannya, tetapi juga karena lokasi Kabupaten Bogor berada pada wilayah dengan potensi gempa yang tinggi. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa menjadi perlu untuk dilakukan. Evaluasi ini juga penting mengingat masih banyaknya gedung yang meskipun telah didesain menggunakan *software*, masih mengalami keruntuhan saat terjadi gempa, khususnya pada bangunan tiga lantai.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur bangunan Gedung *Learning Solution* BPKP Ciawi Kabupaten Bogor menggunakan analisis *pushover*, ditinjau berdasarkan metode CSM (ATC-40) dan DCM (FEMA 356 dan FEMA 440), dengan bantuan *software* SAP2000. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia.

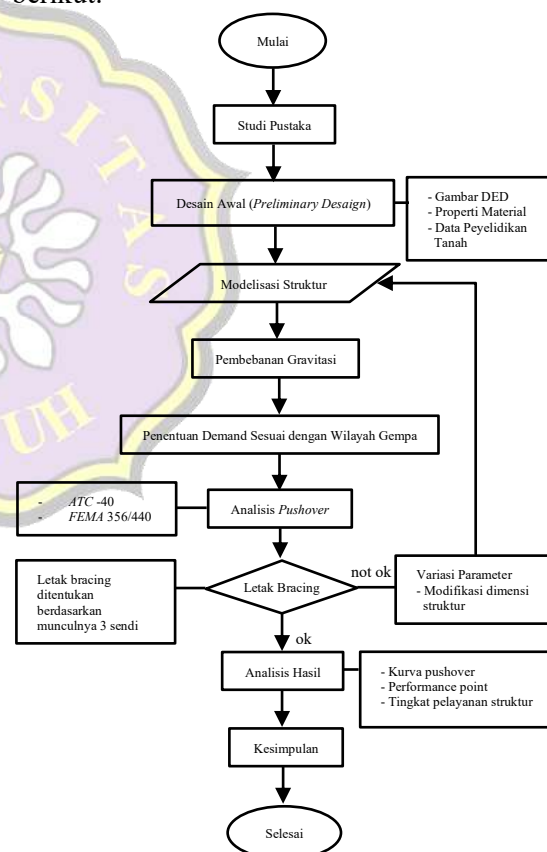
II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif, yang mana dalam penelitian ini mendeskripsikan atau menganalisis kinerja struktur gedung

Learning Solution BPKP Ciawi Bogor akibat beban gempa dengan menggunakan metode *pushover*.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi dokumentasi. Studi dokumentasi merupakan metode pengumpulan data yang tidak dilakukan secara langsung kepada subjek penelitian, melainkan dengan menelaah berbagai macam dokumen yang relevan sebagai bahan analisis.

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL PENELITIAN

1. Data Gedung

Gedung yang dianalisis adalah bangunan gedung 4 lantai dengan data sebagai berikut :

Nama Bangunan : *Learning Solution*
 Lokasi : Ciawi Kabupaten Bogor
 Fungsi Bangunan : Fasilitas Pendidikan
 Panjang Bangunan : 22,5 m
 Lebar Bangunan : 18,25 m

Jumlah Tingkat : 3 Lantai
 Tinggi Lantai : 4 m; 4 m dan 5,2 m
 Tinggi Total Bangunan : 19,45 m

Data Material Beton :

Beton K 300 / f_c' = 24.90 Mpa
 Kuat Tekan Beton (f_c') = 24,90 Mpa
 Berat Jenis = 2400 kg/m³
 Modulus Elastisitas Beton = 23500 Mpa

Data Material Baja Tulangan :

BJTS 420B f_y = 420 Mpa
 Berat Jenis = 7850 Mpa
 Modulus Elastisitas Baja = 200000 Mpa
 Kuat Leleh (F_y) = 420 Mpa
 Kuat Tarik (F_u) = 525 Mpa

Data Material Baja Profil :

Baja BJ37 f_y = 240 Mpa
 Berat Jenis = 7850 Mpa
 Modulus Elastisitas Baja = 200000 Mpa
 Kuat Leleh (F_y) = 240 Mpa
 Kuat Tarik (F_u) = 370 Mpa

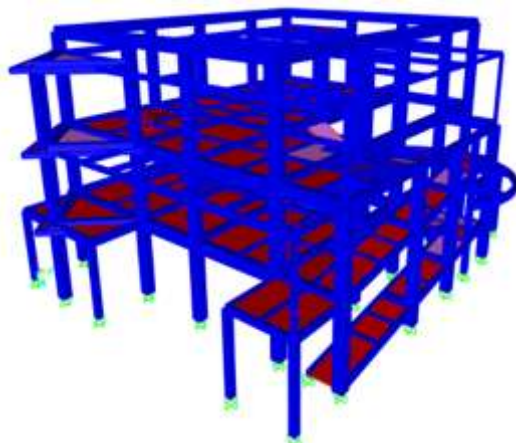
Dimensi Elemen Struktur :

Tabel 1. Dimensi Elemen Struktur

No.	Elemen Struktur	Keterangan
1	Kolom	K1 (500x500), K2 (300x300)
2	Balok	B1 (400x600), B2 (250x400), B3 (150x250), B4 (200x300)
3	Plat Lantai	t = 120 mm
4	Kuda- Kuda	WF 300.150.6,5.9
5	Gording	CNP 125.50.20.2,3

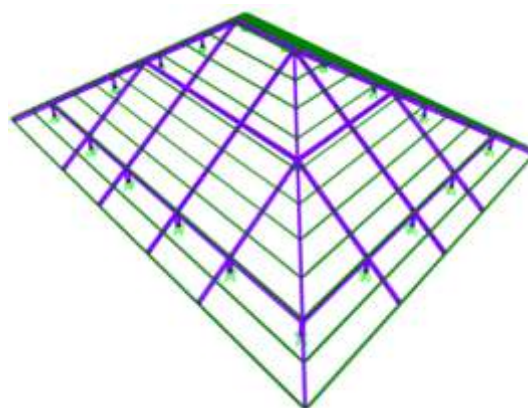
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Model Struktur Bangunan :



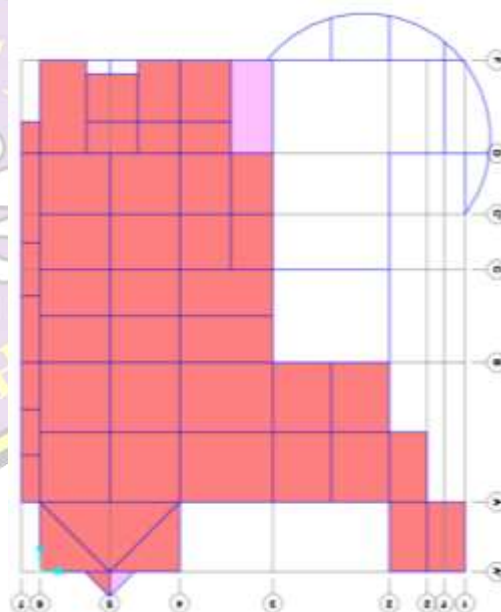
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 2. Tampak 3D Gedung



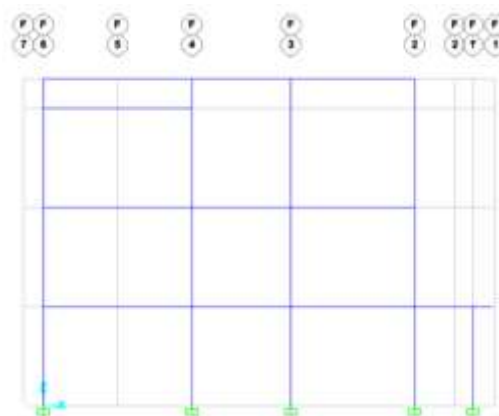
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 3. Tampak 3D Struktur



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

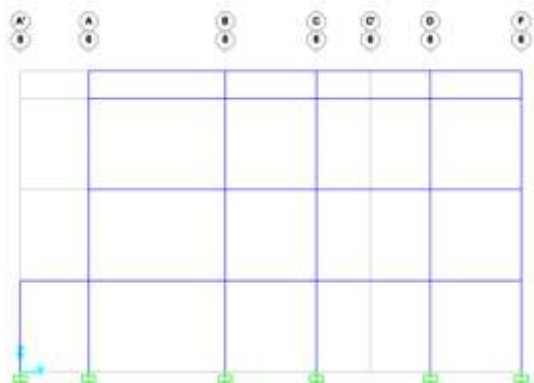
Gambar 4. Tampak X-Y Gedung



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 5. Tampak X-Z Gedung

Sumber : Hasil Penelitian, 2024



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 6. Tampak Y-Z Gedung

2. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur dihitung sesuai dengan SNI 1727:2020.

Pembebanan Struktur Atap

Tabel 2. Rekapitulasi Beban Struktur Atap

No.	Beban	Nilai (kN)
1	Mati	128,469
2	Mati Tambahan	268,735
3	Hidup	13,303
4	Angin	13,198
5	Hujan	47,173
Total		470,878

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Semua beban hasil dari analisis struktur atap, kemudian didistribusikan ke kolom dan balok yang menopang struktur atap.

Pembebanan Struktur Gedung

- Beban Mati (Tambahan) Pada Dinding
= Berat bata ringan x panjang bersih dinding

$$\text{Dinding A} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 3,4 \text{ m} = 5,1 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dinding B} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 4,6 \text{ m} = 6,9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dinding C} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 0,7 \text{ m} = 1,05 \text{ kN/m}$$

- Beban Mati (Tambahan) Pada Plat

Tabel 3. Beban Mati Plat Lantai 2 & 3

Beban Mati Plat Lantai 2 & 3			
Komponen beban	Satuan	Beban	Beban Total
Keramik	1 cm	-	0,24 kN/m ²
Spesi	3 cm	0,21 kN/m ²	0,0063 kN/m ²
Pasir	5 cm	0,16 kN/m ³	0,8 kN/m ²
Instalasi MEP	-	-	0,25 kN/m ²
Plafond	-	-	0,18 kN/m ²

Total	1,48 kN/m ²
-------	------------------------

Tabel 4. Beban Mati Plat Lantai atap

Beban Mati Plat Lantai Atap			
Komponen beban	Satuan	Beban	Beban Total
Instalasi MEP	-	-	0,25 kN/m ²
Plafond	-	-	0,18 kN/m ²
Total			0,43 kN/m ²

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

- Beban Hidup

Tabel 5. Beban Hidup Lantai 2

Peruntukan	Beban Hidup	Satuan
Ruang Bimbingan	4,79	kN/m ²
Lobby	4,79	kN/m ²
Koridor	4,79	kN/m ²
Space Room	4,79	kN/m ²
Ruang IT	4,79	kN/m ²
Tangga	4,79	kN/m ²
Ramp	4,79	kN/m ²

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Tabel 6. Beban Hidup Lantai 3

Peruntukan	Beban Hidup	Satuan
Ruang Breakout	4,79	kN/m ²
=Panggung	4,79	kN/m ²
Ruang IT	4,79	kN/m ²
Tangga	4,79	kN/m ²
Ramp	4,79	kN/m ²

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

3. Berat Seismik Efektif Struktur

Tabel 7. Berat Seismik Efektif Struktur

Lantai	Beban Mati (kN)	Beban Mati Tambahan (kN)	Beban Total (kN)
Lantai Atap	1.574,85	318,26	1.893,12
Lantai 3	2.786,74	1.158,51	3.945,25
Lantai 2	3.007,36	1.292,21	4.299,58
Berat Total Bangunan			10.137,96

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

4. Parameter Percepatan Gempa

Parameter pembebanan gempa dihitung sesuai SNI 1726:2019.

$$S_S = 1,0682 \text{ g.}$$

$$S_I = 0,4839 \text{ g.}$$

$$F_a = 1,0454$$

$$F_v = 2,2322$$

$$S_{MS} = 1,0454 \times 1,0682 = 1,1167$$

$$S_{MI} = 2,2322 \times 0,4839 = 1,0801$$

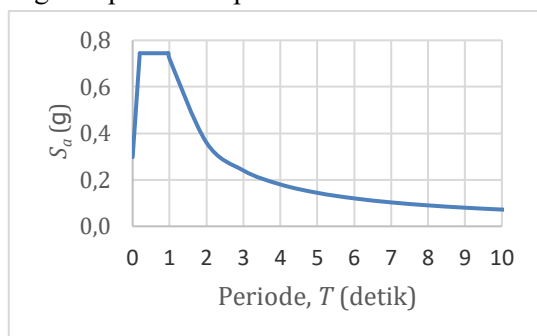
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0,7445$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} = 0,7445$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = 0,1934 \text{ detik}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS} = 0,9672 \text{ detik}$$

Grafik respon spektrum gempa Kabupaten Bogor dapat dilihat pada Gambar berikut



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 7. Respon Spektrum Gempa

$$\begin{aligned} T_a \text{ min} &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 13,2^{0,9} \\ &= 0,4752 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_a \text{ max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,4752 \\ &= 0,665 \text{ detik} \end{aligned}$$

Koefesien modifikasi respon, $R = 8$

Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0 = 3$

Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5,5$

$$\begin{aligned} C_s \text{ hitung} &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= 0,1395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ max} &= \frac{SD_1}{T_x \frac{R}{I_e}} \\ &= 0,2841 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} &= 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,001 \\ &= 0,0491 \geq 0,001 \end{aligned}$$

Gaya Geser Dasar Seismik

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W \\ &= 0,1396 \times 10.137,96 \\ &= 1.415,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Distribusi Gaya Seismik

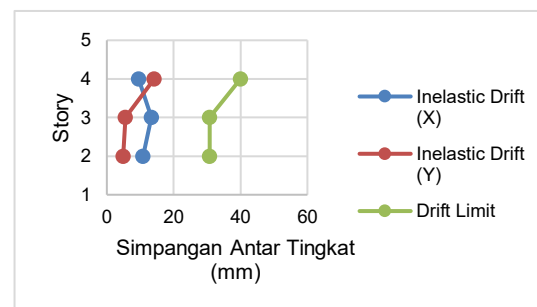
Tabel 8. Berat Seismik Efektif Struktur

Lantai x	h_x (m)	h_x^k	W_x (kN)	$W_x \cdot h_x^k$	C_{vx}	F_x
Lt. Atap	13,2	12,78	1.893,1	24.203,2	0,337	476,6
Lt.3	8	7,80	3.945,2	30.759,4	0,428	605,7
Lt.2	4	3,93	4.299,5	16.905,5	0,235	332,9
Total			10.137,9	71.868,2	1,00	1.415,2

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

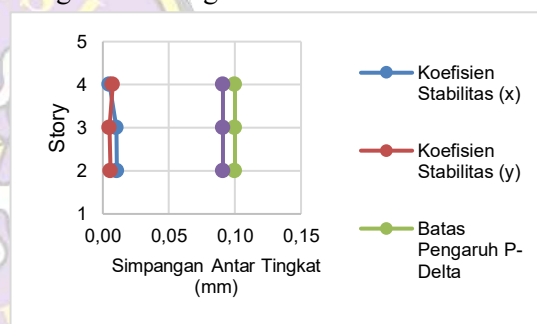
5. Analisa Pembebanan

Pengecekan Simpangan Antar Lantai



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 8. Grafik Simpangan Antar Pengecekan Pengaruh P - Delta



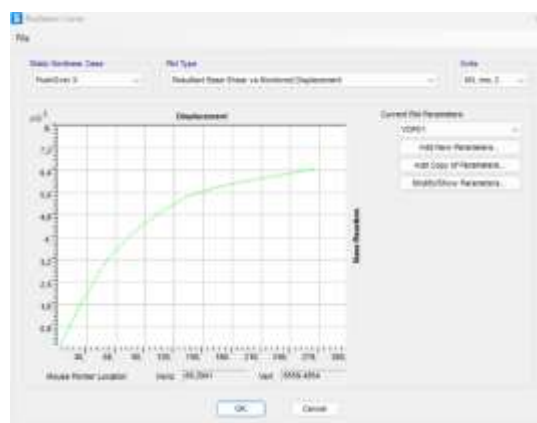
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 9. Grafik Pengaruh P - Delta

3.2 PEMBAHASAN

Analisis *pushover* yang telah selesai di *running* akan menghasilkan *output* berupa kurva kapasitas, *performance point* dan skema sendi plastis yang terjadi pada pemodelan ini.

1. Kurva Kapasitas



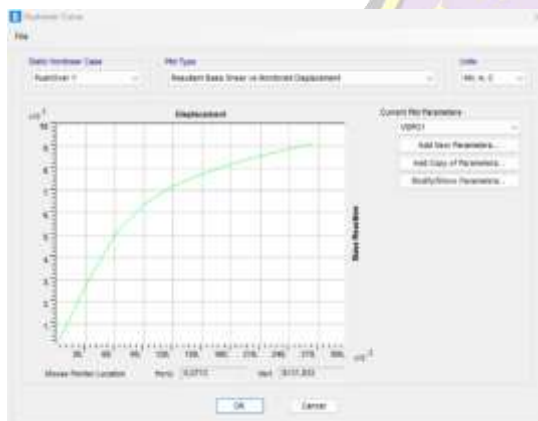
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 10. Kurva Kapasitas *Pushover*

Tabel 9. Hasil *Pushover* Arah X

LoadCase	Step	Displacement	BaseForce
Text	Unitless	m	KN
PushOver X	0	0,000468	0
PushOver X	1	0,023284	1622,07
PushOver X	2	0,05013	3206,742
PushOver X	3	0,077483	4206,912
PushOver X	4	0,10515	4940,911
PushOver X	5	0,129659	5468,053
PushOver X	6	0,160116	5808,984
PushOver X	7	0,178336	5981,662
PushOver X	8	0,206002	6155,225
PushOver X	9	0,232402	6318,223
PushOver X	10	0,258802	6480,104
PushOver X	11	0,264468	6518,989

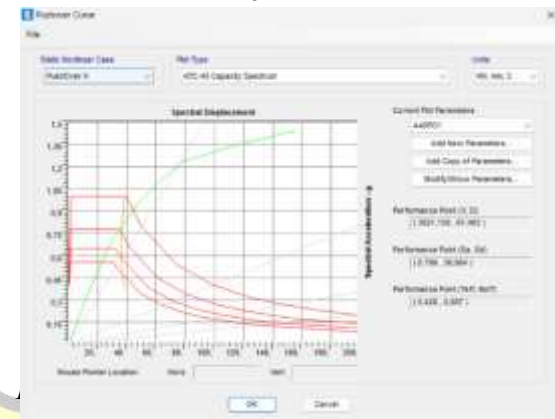
Sumber : Hasil Penelitian, 2024

**Gambar 11.** Kurva Kapasitas *Pushover* Y**Tabel 10.** Hasil *Pushover* Arah Y

LoadCase	Step	Displacement	BaseForce
Text	Unitless	m	KN
PushOver Y	0	0,000025	0
PushOver Y	1	0,008982	830,02
PushOver Y	2	0,035484	3222,293
PushOver Y	3	0,063618	5283,243
PushOver Y	4	0,090226	6447,524
PushOver Y	5	0,118687	7249,438
PushOver Y	6	0,146978	7787,582
PushOver Y	7	0,161487	8019,586
PushOver Y	8	0,16171	8017,643
PushOver Y	9	0,201412	8557,807
PushOver Y	10	0,227812	8855,929
PushOver Y	11	0,264025	9221,544

Sumber : Hasil Penelitian, 2024

2. Evaluasi Kinerja Struktur ATC-40



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 12. Performance Point ATC-40

Arah X

Maksimum total *drift*

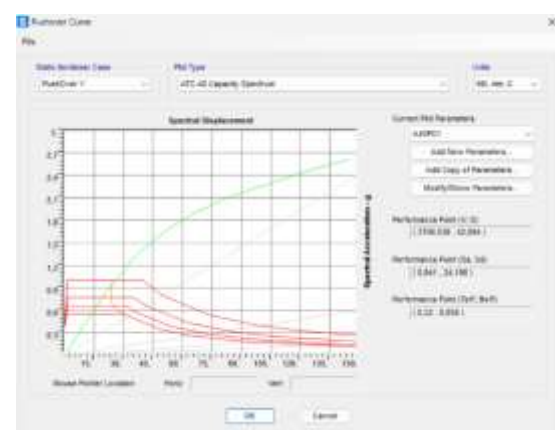
$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{61,463}{13200} = 0,004 < 0,01$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)

Maksimum *in-elastic drift*

$$= \frac{Dt-D1}{H_{total}} = \frac{61,463-23}{13200} = 0,002 < 0,005$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 13. Performance Point ATC-40

Arah Y

Pushover arah Y

Maksimum total *drift*

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{42,094}{13200} = 0,003 < 0,01$$

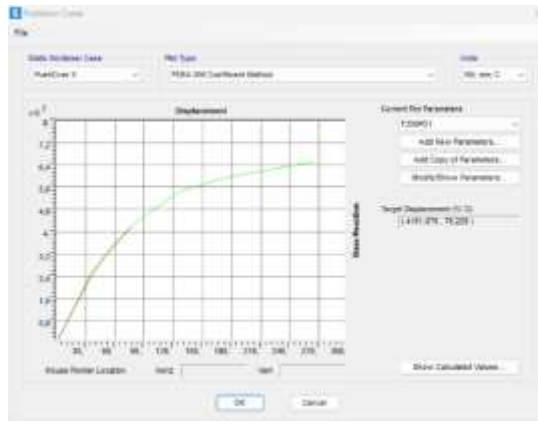
Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)

Maksimum *in-elastic drift*

$$= \frac{Dt - D1}{H_{total}} = \frac{42,094 - 8}{13200} = 0,002 < 0,005$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)

3. Evaluasi Kinerja FEMA 356



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 14. Performance Point FEMA 356

Arah X

$$\delta_T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \cdot g$$

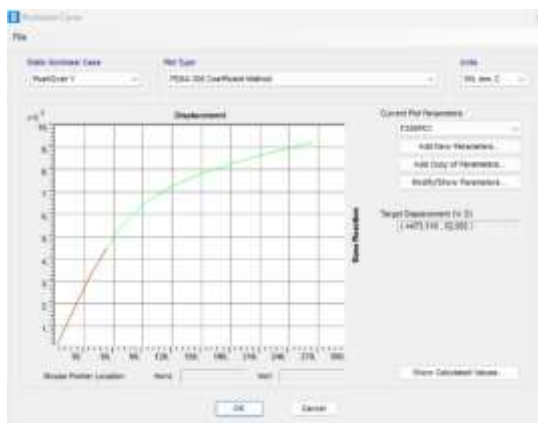
$$\delta_T = 1,65 \cdot 1,349 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,3927}{2\pi} \right)^2 \cdot 9810$$

$$\delta_T = 76,766$$

Maksimum total *drift*

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{76,766}{13200} \times 100 \% = 0,5 \% < 1 \%$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 15. Performance Point FEMA 356

Arah Y

$$\delta_T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \cdot g$$

$$\delta_T = 1,735 \cdot 1,3869 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,3135}{2\pi} \right)^2 \cdot 9810$$

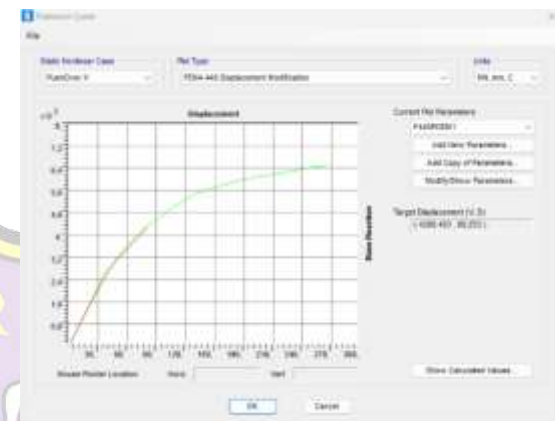
$$\delta_T = 52,992$$

Maksimum total *drift*

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{52,992}{13200} \times 100 \% = 0,4 \% < 1 \%$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)

4. Evaluasi Kinerja FEMA 440



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 16. Performance Point FEMA 440

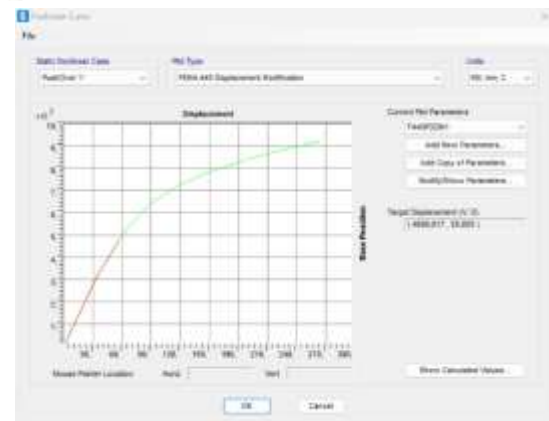
Arah X

Pushover arah X

Maksimum total *drift*

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{80,253}{13200} \times 100 \% = 0,6 \% < 1 \%$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 17. Performance Point FEMA 440

Arah Y

Pushover arah Y

Maksimum total *drift*

$$= \frac{Dt}{H_{total}} = \frac{55,655}{13200} \times 100 \% = 0,4 \% < 1 \%$$

Sehingga level kinerja Gedung termasuk kategori **Immediate Occupancy** (IO)

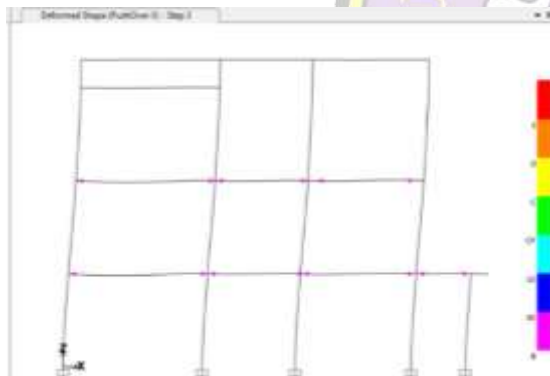
5. Mekanisme Sendi Plastis

Berdasarkan hasil analisis *pushover* arah *X* *Performance Point* muncul diantara step ke-2 dan step ke-3 dengan nilai perpindahan dari 50 mm – 77 mm dengan V_{base} 3206,742 kN sampai 4206,912 kN.



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

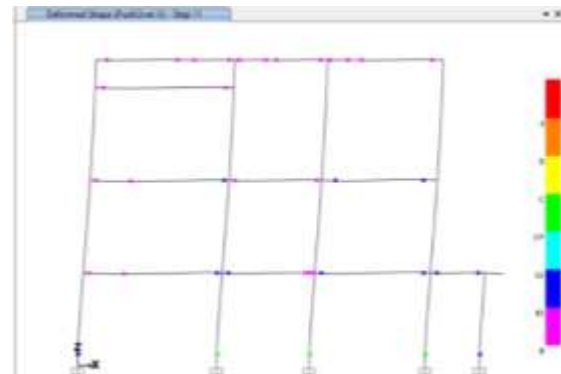
Gambar 18. Push X Step-2



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 19. Push X Step-3

Kemudian hasil analisis *pushover* untuk arah *X* berhenti pada step ke-11 dengan nilai perpindahan sebesar 26,4 cm dengan V_{base} 6518,989 kN, dan sendi plastis sudah menyebar ke seluruh join, dengan di tandai biru tua yang berarti berada pada level kinerja IO (*Immediate Occupancy*) yaitu terjadi kerusakan kecil (tidak berarti) pada struktur dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadinya gempa,, warna hijau yang berarti berada pada level kinerja CP (*Collapse Prevention*) yaitu terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak.



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

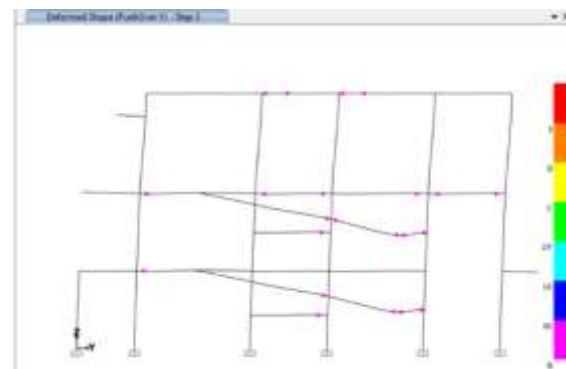
Gambar 20. Push X Step-11

Berdasarkan hasil analisis *pushover* arah *X* *Performance Point* muncul diantara step ke-2 dan step ke-3 dengan nilai perpindahan dari 35 mm – 63 mm dengan V_{base} 3222,293 kN sampai 5283,243 kN.



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 21. Push Y Step-2

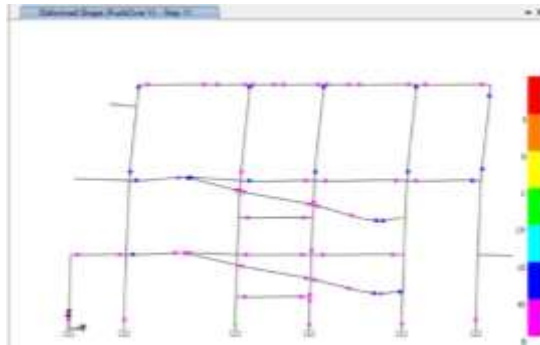


Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 22. Push Y Step-3

Kemudian hasil analisis *pushover* untuk arah *Y* berhenti pada step ke-11 dengan nilai perpindahan sebesar 26,4 cm dengan V_{base} 9221,544 kN, dan sendi plastis sudah menyebar ke seluruh join, dengan di tandai biru tua yang berarti berada pada level kinerja

IO (*Immediate Occupancy*), warna hijau yang berarti berada pada level kinerja CP (*Collapse Prevention*) dan warna kuning yang berarti berada pada level kinerja C, biasanya menandakan *Structural Damage*.



Sumber : Hasil Penelitian, 2024

Gambar 23. Push Y Step-11

Dapat disimpulkan bahwa Gedung *Learning Solution* setelah dilakukan analisis termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini menunjukkan bahwa bangunan dinilai aman saat terjadi gempa bumi, dengan risiko korban jiwa dan kegagalan struktur yang sangat minimal. Hanya terjadi kerusakan kecil yang tidak signifikan pada struktur.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa *pushover* pada Gedung *Learning Solution* BPKP Ciawi Bogor, maka kesimpulan yang dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis *pushover* menggunakan metode *Capacity Spectrum Method* (ATC-40), *Displacement Coefficient Method* (FEMA 356), dan FEMA 440, serta membandingkannya dengan persyaratan tingkat kinerja yang ditetapkan oleh ATC-40 dan FEMA 356/440, dapat disimpulkan bahwa Gedung *Learning Solution* termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini menunjukkan bahwa bangunan dinilai aman saat terjadi gempa bumi, dengan risiko korban jiwa dan kegagalan struktur yang sangat minimal. Hanya terjadi kerusakan kecil yang tidak signifikan pada struktur, kekakuan struktur hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, dan gedung dapat segera difungsikan kembali setelah gempa dengan hanya memerlukan perbaikan

kecil. Kesimpulan ini menegaskan bahwa Gedung *Learning Solution* memiliki performa struktural yang sangat baik dalam menghadapi beban gempa, memberikan tingkat keamanan yang tinggi bagi pengguna bangunan, dan meminimalkan kerusakan struktural.

2. Pola keruntuhan gedung setelah dilakukan analisis *pushover* dapat dilihat dengan distribusi sendi plastis yang terjadi ketika tercapainya titik kinerja yaitu terjadi antara step ke-2 dan ke-3 menunjukkan tidak ada elemen struktur yang melebihi batas *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya terjadi kerusakan kecil (tidak berarti) pada struktur dan kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadinya gempa, sehingga Gedung *Learning Solution* masih berada dalam kondisi aman. Kemudian distribusi sendi plastis pada step terakhir menunjukkan level kinerja CP (*Collapse Prevention*) yaitu terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak, dan level kinerja C yaitu menandakan *Structural Damage* (kerusakan struktural yang signifikan).

V. DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Report SSC 96-01.
- ASCE. (2000). *FEMA 356 - Prestandard And Commentary For The Seismic*. Washington, D.C.: *Federal Emergency Management Agency*.
- BPBD Banyumas. (2023). *Mengenal Sesar Aktif Pemicu Gempa Besar di Indonesia*. Retrieved from <https://bpbd.banyumaskab.go.id/read/41527/mengenal-sesar-aktif-pemicu-gempa-besar-di-indonesia>.
- Indah dkk. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440. *Jurnal Flyover (JFO)*, Volume 02 Nomor 02. Program Pascasarjana Universitas Negri Makasar.

- SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727:2020. *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Retno dkk. 2022. Analisis Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Penahan Beban Lateral Dinding Geser Dan Bresing Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Kontruksi*, 10(1), 011-018.

