

ANALISIS KINERJA BANGUNAN GEDUNG TK DAN SD PEMBANGUNAN LABORATORIUM UNIVERSITAS NEGERI PADANG MENGGUNAKAN METODE *ANALYSIS PUSHOVER*

Hayati Mutmainah¹, Fajri Yusmar²

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email : mutmainahhh1302@gmail.com

Abstrak : Gedung TK dan SD Pembangunan Laboratorium Universitas Negeri Padang adalah salah satu sarana pendidikan di wilayah UNP Kota Padang yang dibangun pada tahun 2012 dengan perencanaan beban gempanya mengacu kepada peraturan lama, yaitu SNI 03-1726-2002. Dengan nilai percepatan gempa di batuan dasar yang umumnya meningkat dua kali lipat, bangunan yang dirancang berdasarkan standar lama memerlukan evaluasi dan penyesuaian untuk memenuhi standar terbaru, agar bangunan dapat bertahan apabila terjadi gempa. Gedung ini berada di Kota Padang yang wilayahnya rentan terhadap gempa dan dari data yang didapatkan, gedung ini beberapa kali mengalami gempa sejak didirikan, hal ini akan menjadi faktor penurunan kinerja struktur. Melalui evaluasi bangunan menggunakan metode analisis statik *pushover* dapat diketahui tingkat kinerja, kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan dan tingkat bahaya gempa. Beban gempa yang bekerja pada bangunan dihitung berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726-2019. Beban lain yang bekerja pada bangunan juga mengacu kepada SNI 1727-2020 dan PPPURG 1987. Level kinerja bangunan ditentukan berdasarkan FEMA 440. Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan aplikasi SAP2000, diperoleh *drift actual* untuk arah X dan arah Y adalah 0,58% dan 0,625%. Level kinerja struktur bangunan termasuk ke dalam *Immediate Occupancy (IO)*, dan berdasarkan tingkat bahaya gempa, gedung ini termasuk kategori *Standar Occupancy Facilities*.

Kata Kunci : Gempa, evaluasi kinerja, *analysis pushover*, FEMA 440

Abstract: The Kindergarten and Elementary School Building of the Laboratory of Padang State University is an educational facility located in the UNP area of Padang City, constructed in 2012 with seismic load planning based on the outdated standard, SNI 03-1726-2002. Given that seismic acceleration values at the base rock have generally doubled, buildings designed according to old standards require evaluation and adjustment to meet the latest standards to ensure their resilience in the event of an earthquake. This building is situated in Padang City, an area vulnerable to earthquakes, and data shows that the building has experienced several earthquakes since its construction, which could affect its structural performance. By evaluating the building using the pushover static analysis method, the performance level, structural damage, and seismic hazard level can be assessed. The seismic loads on the building are calculated according to SNI 1726-2019, while other loads are based on SNI 1727-2020 and PPPURG 1987. The building's performance level is determined according to FEMA 440. Analysis using SAP2000 revealed actual drifts of 0.58% in the X direction and 0.625% in the Y direction. The structural performance level is categorized as *Immediate Occupancy (IO)*, and based on the seismic hazard level, the building falls into the *Standard Occupancy Facilities* category.

Keywords: Earthquake, performance evaluation, *pushover analysis*

PENDAHULUAN

Selama dua dekade terakhir, beberapa perubahan telah terjadi pada peraturan tata cara perencanaan

bangunan tahan gempa, yaitu SNI-1726- 2002, SNI-1726-2012 hingga SNI 1726-2019 menjadi peraturan terbaru. SNI 1726-2019 menyatakan

peningkatan nilai percepatan gempa di batuan dasar (PGA), yang umumnya meningkat dua kali lipat dibandingkan dengan standar sebelumnya (Yusmar et al., 2021). Hal ini dialami Bangunan TK dan SD Pembangunan Laboratorium Universitas Negeri Padang, yang menjadi salah satu sarana pendidikan di wilayah UNP Kota Padang yang dibangun pada tahun 2012 dengan perencanaan beban gempanya mengacu kepada peraturan lama, yaitu SNI 03-1726-2002 dengan nilai PGA 0,25-0,3. Sedangkan pada standar terbaru, PGA di Kota Padang bernilai 0,5-0,6, yang berarti nilai PGANYA meningkat dua kali lipat. Bangunan yang dirancang berdasarkan standar lama memerlukan evaluasi dan penyesuaian untuk memenuhi standar terbaru, agar bangunan dapat bertahan apabila terjadi gempa (Kuswaya, 2022).

Satu diantara negara yang terletak di jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Bet*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) adalah Negara Indonesia, mengakibatkan negara tersebut memiliki potensi gempa yang besar (Afiah et al., 2022). Salah satu daerah yang berada di pertemuan lempeng Eurasia dan Australia adalah Sumatera Barat, mengakibatkan provinsi ini tergolong kepada daerah rentan terhadap gempa (Putera et al., 2022). Sehingga bangunan TK dan SD Pembangunan Laboratorium UNP yang berlokasi di Kota Padang termasuk wilayah yang rentan terhadap gempa dan dari data yang dididapatkan, gedung ini beberapa kali mengalami gempa sejak didirikan. Hal ini akan menjadi faktor penurunan kinerja struktur, sehingga dilakukan evaluasi kinerja bangunan agar diketahui sejauh mana performa gedung tersebut.

Analysis pushover termasuk salah satu metode konsep *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE) yang berfungsi untuk mengevaluasi bangunan yang ada dan mengetahui kinerja seismiknya. Dalam analisis ini, beban lateral statik struktur diberikan kepada bangunan, dengan nilai pengali yang dinaikkan secara bertahap hingga tercapainya target perpindahan lateral (Afiah et al., 2022).

Mengetahui level kinerja struktur, mengetahui kerusakan yang terjadi karena gempa dan tingkat

bahaya gempa dari Gedung TK dan SD Pembangunan Laboratorium UNP merupakan tujuan dari penelitian ini.

METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah mempelajari materi yang berhubungan tugas akhir seperti jurnal, buku dan standar peraturan yang berlaku.

2. Pengumpulan Data Primer dan Data Sekunder.

Data primer adalah data yang didapatkan dari pengukuran dan pengecekan langsung di lapangan, seperti kuat tekan beton dan ukuran elemen struktur. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari *as built drawing* dan rencana kerja struktur.

3. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan menggunakan bantuan *software* SAP2000 dilakukan dalam bentuk tiga dimensi. Elemen kolom dan balok dimodelkan sebagai *frame* dan pelat dimodelkan sebagai *shell*.

4. Pembebanan Struktur

a. Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

Beban mati struktur dihitung secara otomatis oleh *software* SAP2000, berdasarkan jenis material yang digunakan dengan menggunakan faktor beban 1. Untuk beban mati tambahan diperoleh berdasarkan PPPURG 1987. Beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Beban Mati Tambahan

Material	Berat Jenis (kg/m ²)
Penutup Lantai Keramik	24
Dinding pasangan bata merah ½ Bata	250
Penutup Atap Seng Bergelombang	10
MEP	25
Plafond	11
Berat Pasir	16
Berat Spesi	21

Batasan *drift actual* berdasarkan FEMA 356 dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

- b. Beban Hidup
Beban hidup yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu kepada SNI 1720-2020 pasal 4.3.1 seperti pada tabel 2 :

Tabel 2. Beban Hidup

Jenis Beban	Berat Jenis (kN/m ²)
Ruang kelas	1,92
Koridor di atas lantai pertama	3,83
Koridor lantai pertama	4,79
Lab Komputer	4,79
Perpustakaan (Ruang baca)	2,87
Ruang pertemuan	4,79
Gudang	6

- c. Beban Gempa
Beban gempa dihitung berdasarkan standar yang terdapat dalam SNI 1726-2019 menggunakan analisis respons spektrum. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan jenis tanah dari bangunan, kemudian perlu diketahui kategori risiko bangunan sesuai dengan jenis penggunaan bangunan yang dianalisis sehingga diperoleh faktor keutamaan gempa, selanjutnya, parameter respons spektrum dapat diperoleh berdasarkan aplikasi RSA 2019.

5. Validasi Pemodelan
Setelah pemodelan dan input pembebanan, dilakukan validasi pemodelan agar dapat dipastikan pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 sudah tepat.
6. Analisis Struktur dan Analisis Pushover.
Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui besar gaya dalam yang terjadi pada struktur bangunan. Selanjutnya, dilakukan analisis *pushover* untuk mengetahui bentuk kurva kapasitas struktur, sehingga dapat ditentukan level kinerja struktur berdasarkan metode FEMA 440.
Level kinerja struktur bangunan ditentukan berdasarkan batasan *drift actual* struktur.

Tabel 3. Level Kinerja FEMA 356

Level Kinerja	Drift Actual (%)	Keterangan
Immediate Occupancy	1,0	Sementara
Life Safety	2,0	Sementara
	1,0	Permanen
Collapse Prevention	1,0	Sementara dan Permanen

7. Kesimpulan
Berdasarkan analisis *pushover* yang dilakukan dapat diketahui level kinerja struktur, kerusakan yang terjadi pada bangunan dan tingkat bahaya gempa berdasarkan metode FEMA 440.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. HASIL

- a. Data Struktur Bangunan
Data struktur bangunan diperoleh berdasarkan gambar rencana bangunan dan pengujian ke lapangan. Mutu beton yang diperoleh berdasarkan pengujian *schmidt rebound hammer* ialah sebesar 40 Mpa. Mutu baja tulangan dengan diameter (\emptyset) < 12 mm digunakan $f_y = 240$ MPa dan baja tulangan dengan diameter (D) > 12 mm digunakan $f_y = 390$ Mpa. Data elemen kolom, balok dan plat dapat dilihat pada tabel 4,5 dan 6 :

Tabel 4. Detail Elemen Kolom

Jenis Kolom	Dimensi (cm)	Letak	Tulangan utama	Tulangan Geser
K1	40 x 40	Tumpuan	20D22	\emptyset 10-15
		Lapangan	20D22	\emptyset 10-10
K2	40 x 40	Tumpuan	16D22	\emptyset 10-15
		Lapangan	16D22	\emptyset 10-10
K3	40 x 40	Tumpuan	12D22	\emptyset 10-15
		Lapangan	12D22	\emptyset 10-10

Tabel 5. Detail Elemen Balok

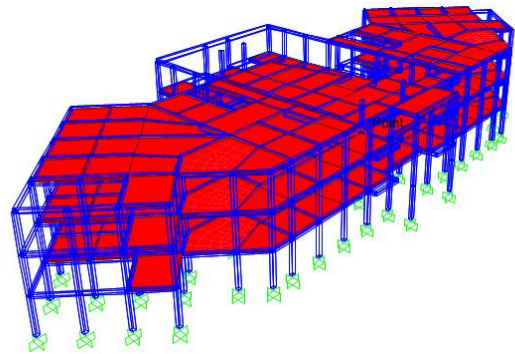
Jenis Balok	Dimensi	Letak	Tulangan Utama	Tulangan Geser	
Balok A	250 x 650 mm	Tumpuan	Atas	4D19 2D19	Ø10-12,5
			Pinggang	-	
			Bawah	2D19	
		Lapangan	Atas	2D19	Ø10-20
			Pinggang	2Ø10	
			Bawah	4D19 1D19	
Balok B	250 x 650 mm	Tumpuan	Atas	4D19 1D19	Ø10-8
			Pinggang	-	
			Bawah	2D19	
		Lapangan	Atas	2D19	Ø10-20
			Pinggang	2Ø10	
			Bawah	2D19	
Balok C	250 x 400 mm	Tumpuan	Atas	4D16 1D16	Ø10-7,5
			Pinggang	-	
			Bawah	2D16	
		Lapangan	Atas	2D16	Ø10-20
			Pinggang	-	
			Bawah	5D16	
Balok D	200 x 400 mm	Tumpuan	Atas	3D16	Ø10-15
			Pinggang	-	
			Bawah	2D16	
		Lapangan	Atas	2D16	Ø10-20
			Pinggang	-	
			Bawah	3D16	

Tabel 6. Elemen Pelat

Jenis Pelat	Tebal (mm)
Pelat lantai 1-3	130

b. Pemodelan Struktur

Tampilan 3D struktur Gedung TK dan SD Pembangunan Laboratorium UNP menggunakan aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tampilan 3D Gedung TK dan SD Pembangunan Laboratorium UNP

c. Pembebanan Struktur

1) Beban Mati Tambahan

- a) Beban Dinding tinggi 4 m = 9,806 kN/m²
- b) Beban atap = 16,87kN
- c) Beban plat lantai 2 dan 3 = 0,95 kN/m²
- d) Beban plat lantai 4 (atap) = 0,72 kN/m²
- e) Beban toilet = 0,67 kN/m²

2) Beban Hidup

- a) Ruang pertemuan = 4,79 kN/m²
- b) Ruang kelas = 1,92 kN/m²
- c) Ruang baca = 2,87 kN/m²
- d) Ruang komputer = 4,79 kN/m²
- e) Koridor di atas lantai pertama = 3,83 kN/m²
- f) Koridor lantai pertama = 4,79 kN/m²
- g) Gudang = 6 kN/m²

3) Beban Gempa

- a) Kategori risiko bangunan = IV
- b) Faktor keutamaan gempa = 1,5
- c) Klasifikasi situs tanah = tanah lunak (SE)
- d) Parameter percepatan gempa $S_S = 1,446605 g$

$$S_1 = 0,6 \text{ g}$$

$$F_a = 0,821358$$

$$F_v = 2,000000$$

e) Parameter Percepatan Spektral Desain

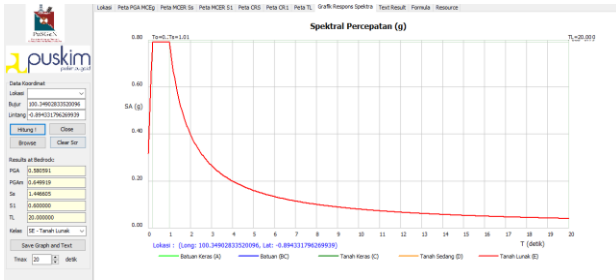
$$S_{DS} = 0,792120 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,800000 \text{ g}$$

f) Kategori desain seismik = D

g) Grafik respons spektrum

Grafik respon spektrum dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Respons Spektrum

d. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan analisis dengan SAP2000, diperoleh output gaya geser dasar statik dan dinamik seperti pada tabel 7 berikut :

Tabel 7. Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik

Gaya Geser Dasar	FX (kN)	FY (kN)
Statik X	-6375,032	0
Statik Y	0	-6375,032
Dinamik X	6265,083	178,382
Dinamik Y	175,425	6271,045

Berdasarkan tabel 7, kontrol gaya geser dasar dinamik dan statik tidak tercapai sehingga skala gaya gempa harus diperbesar. Faktor skala arah X = $(I_e \times g)/R \times (V_x \text{ Statik}/V_x \text{ dinamik}) = (1,5 \times 9,81)/8 \times (6375,03/6265,083) = 1,873$. Kemudian, faktor skala arah Y = $(I_e \times g)/R \times (V_y \text{ Statik}/V_y \text{ dinamik}) = (1,5 \times 9,81)/8 \times (6375,03/6271,045) = 1,870$. Diambil skala faktor maksimum yaitu 1,873.

Gaya geser dasar dinamik dan statik setelah skala gempa diperbesar dapat dilihat pada tabel 8 berikut :

Tabel 8. Gaya Geser Dasar Statik dan Dinamik Setelah Skala Diperbesar

Gaya Geser Dasar	FX (kN)	FY (kN)
Statik X	-6375,032	0
Statik Y	0	-6375,032
Dinamik X	6377,446	181,582
Dinamik Y	178,571	6383,515

e. Analisis Pushover

Analisis Pushover (NSPA) adalah metode yang digunakan agar memahami perilaku *inelastis* struktur menggunakan beban statik. Dalam analisis ini, setiap kolom dan balok dikontrol secara sistematis.

Properti *nonlinear* material dari kolom dan balok dihasilkan berupa kurva momen-kurvatur dari analisis penampang menggunakan program XTRACT, untuk daerah rawan gempa direkomendasikan menggunakan model *confinement* Mander (Afifi, 2021). Berdasarkan kurva momen-kurvatur kolom dan balok yang dihasilkan, dilakukan bilinearisasi momen kurvatur untuk memperoleh parameter perhitungan momen-rotasi. Hubungan momen-rotasi dapat ditentukan melalui perhitungan yang terdapat pada tabel 9 dan 10 berikut :

Tabel 9. Perhitungan Hubungan Momen-Rotasi Kolom

Xtract Output	Moment (M)	Curvature (ϕ)	H Beam (lp)	Rotation θ ($\phi \cdot lp$)
	kN-m	1/m	m	Rad
Yield (y)	432,1	0,01034	0,4	0,00414
Ultimate (u)	450,5	0,0633	0,4	0,02532

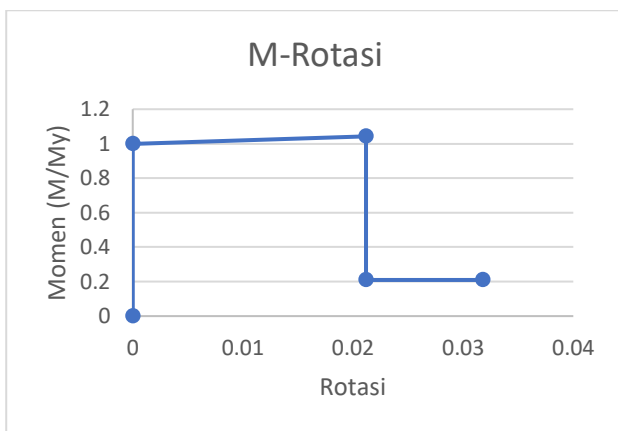
Tabel 10. Perhitungan Hubungan Momen-Rotasi Balok

Xtract Output	Moment (M)	Curvature (ϕ)	H Beam (lp)	Rotation θ ($\phi \cdot lp$)
	kN-m	1/m	m	Rad
Yield (y)	144,5	0,00438	0,65	0,002847
Ultimate (u)	184,3	0,1927	0,65	0,125255

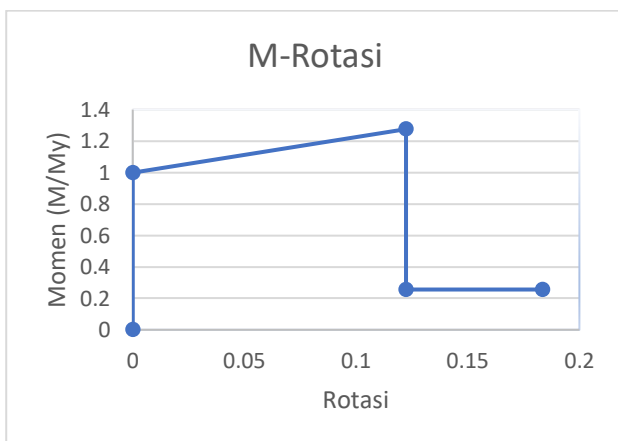
Selanjutnya hubungan momen-rotasi kolom, balok dapat ditetapkan berdasarkan standar ASCE 41-17 dengan hasil seperti tabel 11 dan gambar 3, 4 berikut :

Tabel 11. Momen-Rotasi Kolom dan Balok

Point	Kolom		Balok	
	M/SF	Rot/SF	M/SF	Rot/SF
A	0	0	0	0
B	1	0	1	0
C	1,04258	0,02118	1,12754	0,12241
D	0,20852	0,02118	0,25508	0,12241
E	0,20852	0,03178	0,25508	0,18361



Gambar 3. Momen-rotasi Kolom 1

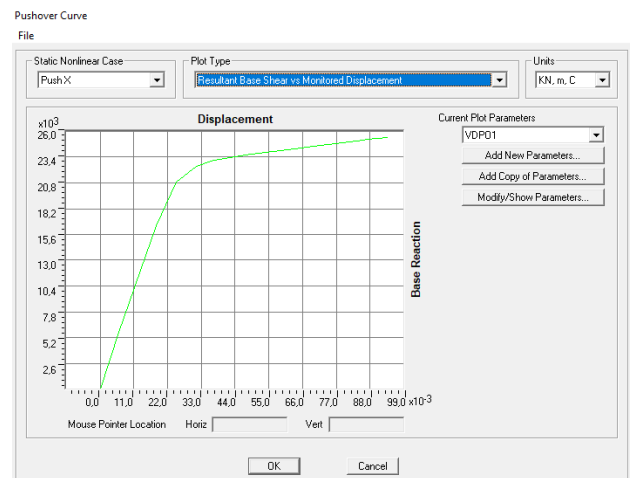


Gambar 4. Momen-rotasi Balok 1

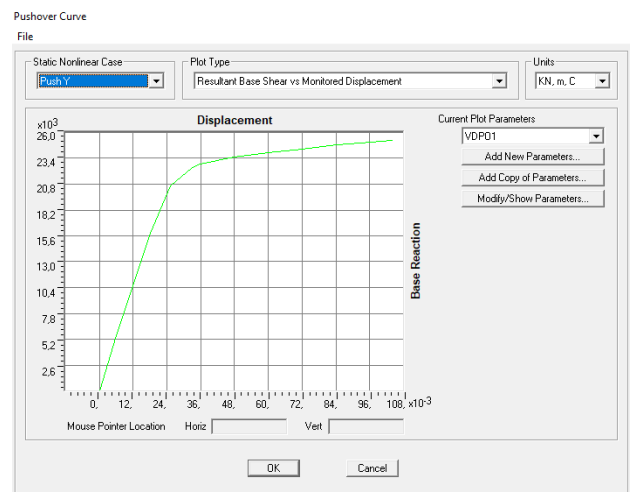
Berdasarkan ASCE 41-17, nilai batas kondisi (*acceptance criteria*) untuk kinerja elemen bernilai :

1. CP = Batas ultimit
2. LS = 0,75 CP
3. IO = < 0,67 LS

Setelah dilakukan *pushover* dengan *software* SAP2000, dapat diperoleh kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara perpindahan atap (*roof displacement*) dengan gaya geser dasar (*base shear*). Analisis dilakukan dengan menggunakan *displacement control* 1% dari tinggi total bangunan. Kurva kapasitas arah X dan arah Y dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Selanjutnya, untuk tabel perpindahan dan gaya geser arah X dan arah Y terdapat pada tabel 12 dan tabel 13.



Gambar 5. Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah Y

Tabel 12. Perpindahan dan Gaya Geser pada Arah X

Step	Displacement	BaseForce
	m	kN
0	-5,73E-03	0,000

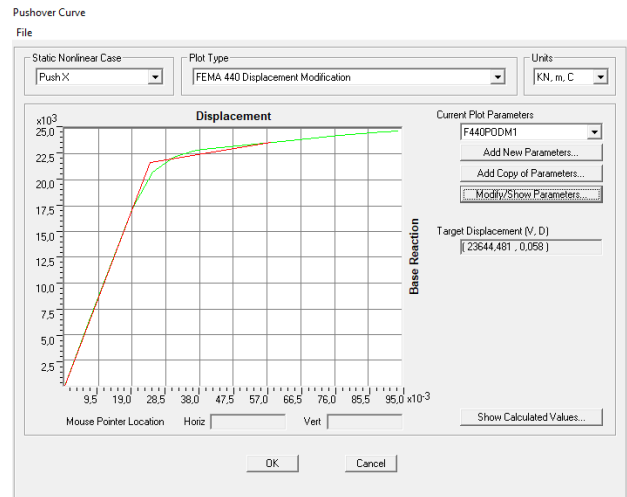
1	0,006123	5729,172
2	0,018329	16484,932
3	0,024858	20847,297
4	0,031364	22502,813
5	0,037107	23118,414
6	0,049230	23706,447
7	0,061294	24175,217
8	0,071599	24557,078
9	0,074556	24679,436
10	0,085822	25139,560
11	0,087057	25170,205
12	0,090075	25285,545
13	0,090622	25299,434
14	0,093274	25365,729
15	0,093819	25388,784
16	0,093835	25389,204

Tabel 13. Perpindahan dan Gaya Geser pada Arah Y

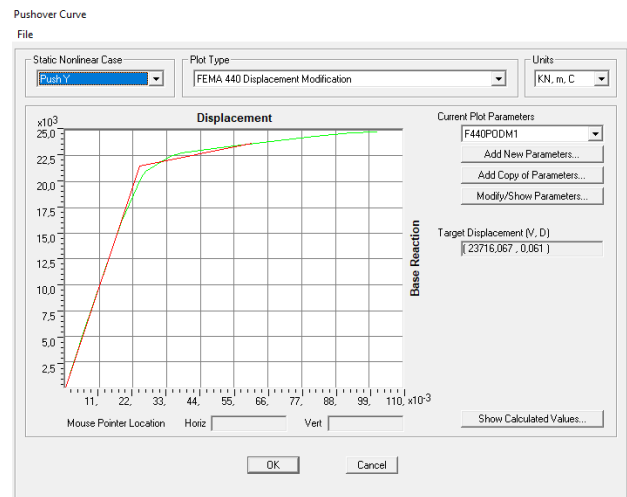
Step	Displacement m	BaseForce kN
0	-2,45E-03	0,000
1	0,006070	5551,237
2	0,018096	15900,760
3	0,025221	20618,527
4	0,032548	22395,010
5	0,035741	22831,675
6	0,047815	23489,997
7	0,059839	23931,400
8	0,071941	24368,212
9	0,084366	24757,359
10	0,096402	25056,137
11	0,103824	25201,496
12	0,104425	25211,604

Berdasarkan kurva kapasitas arah X, diperoleh bahwa *analysis pushover* berhenti di langkah 16 (*step-16*), dengan nilai perpindahan 0,093835 m dan gaya geser dasar 25389,204 kN. Sementara itu pada arah Y, analisis pushover berhenti di langkah 12 (*step-12*), dengan nilai perpindahan 0,104425 m dan gaya geser dasar 25211,604 kN.

- f. Target Perpindahan Berdasarkan FEMA 440 Menggunakan metode FEMA 440, parameter harus disesuaikan dengan yang respons spektrum yang digunakan, yaitu S_S , S_1 dan *site class* (kelas situs) dengan nilai masing masing adalah 1,446605 dan 0,6. Kelas situs adalah tanah lunak (E). Hasil Kurva kapasitas analisis *pushover* berdasarkan FEMA 440 arah X dan Y dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 berikut :



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah X berdasarkan FEMA 440



Gambar 8. Kurva Kapasitas Arah Y berdasarkan FEMA 440

Parameter untuk menghitung target perpindahan dihitung secara otomatis oleh aplikasi SAP2000. Parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 14 :

Tabel 14. Parameter Target Perpindahan

Parameter	Arah X	Arah Y
C_0	0,9814	1,0602
C_1	1,1334	1,1335
C_2	1,0153	1,0154
S_a	1,302	1,302
Te	0,437	0,4385
π	3,14	3,14
g	9,81	9,81

Perhitungan target perpindahan FEMA 440 :

1. Arah X

$$\begin{aligned}\delta_T &= C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 0,9814 \times 1,1334 \times 1,0153 \times 1,302 \times \\ &\quad \frac{0,3979^2}{4 \times 3,14^2} \times 9,81 \\ &= 0,07\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Drift Aktual} &= \frac{\delta_T}{h_{tot}} \times 100(\%) \\ &= \frac{0,07}{12} \times 100(\%) \\ &= 0,58 \%\end{aligned}$$

2. Arah Y

$$\begin{aligned}\delta_T &= C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T e^2}{4 \pi^2} g \\ &= 1,0602 \times 1,1335 \times 1,0154 \times 1,302 \times \\ &\quad \frac{0,3987^2}{4 \times 3,14^2} \times 9,81 \\ &= 0,075\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Drift Aktual} &= \frac{\delta_T}{h_{tot}} \times 100(\%) \\ &= \frac{0,075}{12} \times 100(\%) \\ &= 0,625 \%\end{aligned}$$

2. PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh nilai *drift actual* (δ_T) arah X dan arah Y sebesar 0,58% dan 0,625%, yaitu kurang dari 1% tinggi bangunan, sehingga didapatkan level kinerja struktur bangunan TK dan SD Pembangunan UNP adalah *Level Immediate Occupancy* (IO), yang mana kerusakan yang terjadi pada struktural dan non-struktural ringan. Elemen struktural utama seperti kolom, balok, dan sambungan tetap utuh dan tidak mengalami deformasi yang signifikan.

Berdasarkan tingkat bahaya gempa TK dan SD Pembangunan Laboratorium yang berfungsi

sebagai fasilitas sekolah, termasuk kepada kategori *Standar Occupancy Facilities*. Sehingga bangunan diharapkan tetap berada pada *Level Immediate Occupancy* (IO) yaitu level di antara *operasional* dan *life safety* hingga periode ulang 72 tahun, mencapai *Level Life Safety* pada periode ulang 474 tahun (S2) dan berada pada *Level Collapse Prevention* pada periode ulang 2475 tahun (S3).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan aplikasi SAP2000, Level kinerja struktur bangunan termasuk ke dalam *Immediate Occupancy* (IO) yaitu bangunan aman terhadap beban gempa, struktural bangunan tidak terjadi kerusakan yang signifikan dan hanya terdapat retakan kecil pada non struktural bangunan, sehingga bangunan dapat digunakan kembali setelah terjadinya gempa.

Berdasarkan tingkat bahaya gempa, gedung ini termasuk kepada kategori *Standar Occupancy Facilities*. Sehingga bangunan diharapkan tetap berada pada *Level Immediate Occupancy* (IO) hingga periode ulang 72 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiah, I. N., Ashad, H., & Rahman, M. J. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440. *Journal Flyover (JFO)*, 02(02), 99–110.
- Afifi, A. (2021). Performance Evaluation Of Existing Prestressed Voided Slab Concrete Bridge With Pushover Analysis On Bridge Pier. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 38(2), 2021.
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Standarisasi Nasional (SNI 1727-2020)*. In *Jakarta, BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726-2019)*. In *Jakarta, BSN*.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* (Issue June).
- Kuswaya, W. (2022). Analisis Struktur Apartemen Tower a Di Palembang Berdasarkan Sni

1726-2019. *Ejournal.Istn.Ac.Id*, XII(1), 50–59.

<https://ejournal.istn.ac.id/index.php/cline/article/view/1507%0Ahttps://ejournal.istn.ac.id/index.php/cline/article/view/1507/998>

Putera, R. R., Juliafad, E., Padang, U. N., Teknik, F., Sipil, D. T., Padang, U. N., Teknik, F., Sipil, D. T., Padang, U. N., Teknik, F., Sipil, D. T., & Wave, R. (2022). *Assessment Tingkat Kerentanan Bangunan Balai Kota Padang Sebagai Bangunan Cagar Budaya Dengan Rayleigh*. 3, 356–361.

Yusmar, F., Prita Melinda, A., & Sandra, N. (2021). Studi Komparasi Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen Menggunakan Software Sap 2000 Dengan Sni 1726 2019. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 114–123. <https://doi.org/10.24815/jts.v10i2.22767>