

EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN *SHELTER* TSUNAMI DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS NEGERI PADANG (STUDI KASUS: GEDUNG SEKOLAH MENENGAH ATAS YAYASAN PEMBANGUNAN LABORATORIUM PADANG)

Binu Rifa¹, Eka Juliafad²

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: binurifa808@gmail.com ekajuliafad@ft.unp.ac.id

Abstrak: Yayasan Pembangunan laboratorium Padang merupakan salah satu sekolah di lingkungan Universitas Negeri Padang yang memiliki tempat evakuasi sementara (*shelter*) sehingga dapat digunakan sebagai tempat evakuasi terhadap tsunami. Bangunan tersebut terletak pada zona merah terhadap tsunami kota Padang yang hanya berjarak 600 m dari bibir pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang dengan menggunakan metode analisis *pushover* untuk beban gempa dan analisis statis beban tsunami dengan menggunakan mengacu pada FEMA P-646/ 2019. Menurut FEMA P-646/2019, struktur bangunan *shelter* harus memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), yaitu keadaan dimana suatu bangunan harus dapat langsung ditempati sesaat setelah terjadinya bencana gempa bumi. Adapun untuk pembebanan yang bekerja pada bangunan mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa, serta FEMA P-646/ 2019 untuk beban tsunami. Sedangkan perhitungan kapasitas elemen struktur beton, mengacu pada SNI 2847:2019. Analisis dilakukan dengan menggunakan software SAP2000. Setelah dilakukan analisis struktur bangunan terhadap beban gempa, didapatkan hasil *drift ratio* yang terjadi akibat pembebanan arah X dan arah Y adalah 0,07801% dan 0,0851%. Hasil *drift ratio* tersebut masih lebih kecil dari nilai yang diizinkan oleh ATC- 40 yaitu 1% untuk level kinerja *immediate occupancy* sehingga bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang masih cukup kuat menahan beban gempa yang terjadi.

Kata Kunci: Gempa, Analisis *Pushover*, Level Kinerja Struktur, Shelter.

Abstract: Padang Laboratory Development Foundation is one of the schools in the area of Padang State University that has a shelter, so it can be used as an evacuation site against tsunamis. The building is located in the red zone against the tsunami in the town of Padang, only 600 meters from the shore. This study aims to evaluate the performance of high school building structures of the Field Laboratory Development Foundation using the methods of pushover analysis for earthquake loads and static analysis of tsunami loads with reference to FEMA P-646/2019. According to the FEMA, the shelter building structure must have an Immediate Occupancy (IO) performance level, that is, a condition in which a building must be able to be occupied immediately after the occurrence of an earthquake disaster. As for the loads that work on the building references to SNI 1727:2020 and SNI1726:2019 for the load of the quake, as well as FEMAP-646/ 2019 for the charge of the tsunami. Whereas the calculation of the capacity of concrete structural elements refers to the SNI 2847:2019. The analysis is done using SAP2000 software. After an analysis of the structure of the building against the earthquake load, the result of the drift ratio that occurs due to the load of directions X and the direction Y is 0,07801% and 0,0851%. The resulting drift ratios are still smaller than the value permitted by the ATC-40 which is 1% for the level of immediate performance occupancy, so the building of the High School Foundation Development Laboratory Fields is still strong enough to withstand the load that occurred.

Keyword: Earthquake, Pushover, Performance Point, Shelter

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia berada di jalur pertemuan tiga lempeng dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Samudera Hindia-Australia, dan lempeng Samudera Pasifik (Febrina, 2017). Lempeng Hindia-Australia dengan lempeng Eurasia bertemu dan saling bertabrakan di lepas pantai Sumatera, Jawa, dan Nusa Tenggara sedangkan lempeng Samudera Hindia-Australia dengan lempeng Pasifik bertemu dan bertabrakan di sekitaran pulau Papua. Pertemuan tiga lempeng tersebut terjadi di sekitaran pulau Sulawesi. Maka dari itu wilayah yang terjadi pertemuan ke 3 lempeng sering terjadi gempa bumi (Murtianto, 2016).

Kota Padang merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi gempa dan tsunami karena terletak pada daerah Megatrast yaitu, daerah yang tepat berada pada lempeng yang bergeser dan bertumpuk serta menyimpan energi yang kapan saja dapat meledak sehingga diprediksi akan menimbulkan gempa dan tsunami yang besar (Sari dkk., 2014).

Berdasarkan Katalog Tsunami Indonesia (2019) terhitung telah terjadi 15 kali bencana tsunami di Sumatera Barat yang telah menewaskan ribuan jiwa manusia. Tercatat pada tahun 1861 Sumatera Barat pernah dilanda tsunami yang diawali dengan gempa berkekuatan 8,5 SR. Gempa tersebut menghasilkan gelombang tsunami setinggi 7 meter yang menyebabkan sebanyak 1105 korban meninggal dunia (BMKG, 2019).

Gempa yang paling membekas bagi masyarakat Padang yaitu gempa yang terjadi pada 30 September 2009 silam. Gempa tersebut berepisentrum di Selat Mentawai, sekitar 50 km Barat Laut Kota Padang dan 60 km Barat Daya Kota Pariaman dengan kedalaman hiposenter 80 km, yang memiliki kekuatan 7,6 SR sehingga mampu merobohkan ratusan ribu bangunan di kota Padang dan sekitarnya (Mustafa, 2010).

Langkah untuk mencegah dan meminimalisir munculnya korban jiwa akibat bencana tsunami yaitu dengan mendirikan tempat evakuasi sementara atau shelter sebagai tempat evakuasi vertikal. Bangunan tersebut membutuhkan sistem struktural yang kuat untuk mampu menahan beban gempa, tsunami, dan beban lain yang akan terjadi pada bangunan tersebut. Namun struktur bangunan shelter harus mampu mencapai performa immediate occupancy yaitu keadaan dimana suatu bangunan harus dapat langsung ditempati sesaat setelah terjadinya bencana gempa bumi (FEMA P-

646, 2019). Sehingga dapat digunakan sebagai tempat evakuasi sementara /shelter.



Gambar 1. Bangunan SMA Yayasan Pembangunan Padang

METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan sehingga bersifat real time. Data tersebut berasal dari hasil pengamatan secara visual berupa pengukuran dimensi elemen struktur bangunan, pengecekan kuat tekan beton, pengecekan tebal selimut beton dan pengecekan tulangan.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang bersumber dari catatan yang ada di suatu atau beberapa sumber. Pada penelitian ini data sekunder berupa informasi yang didapatkan melalui dokumen-dokumen perencanaan proyek bangunan Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang. Data tersebut berupa gambar perencanaan dan spesifikasi teknis bangunan.

Pemodelan Struktur

Tahapan ini dimulai dengan kegiatan mempelajari gambar dan data bangunan gedung SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang pada perencanaan struktur, kemudian dilanjutkan dengan permodelan dimensi bangunan, permodelan struktur dan pembebanan. Permodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program komputer *software* SAP2000.

Pembebanan Elemen Struktur

Pada tahapan ini dilakukan proses input pembebanan struktur pada bangunan yang akan diteliti terhadap pengaruh gempa bumi.

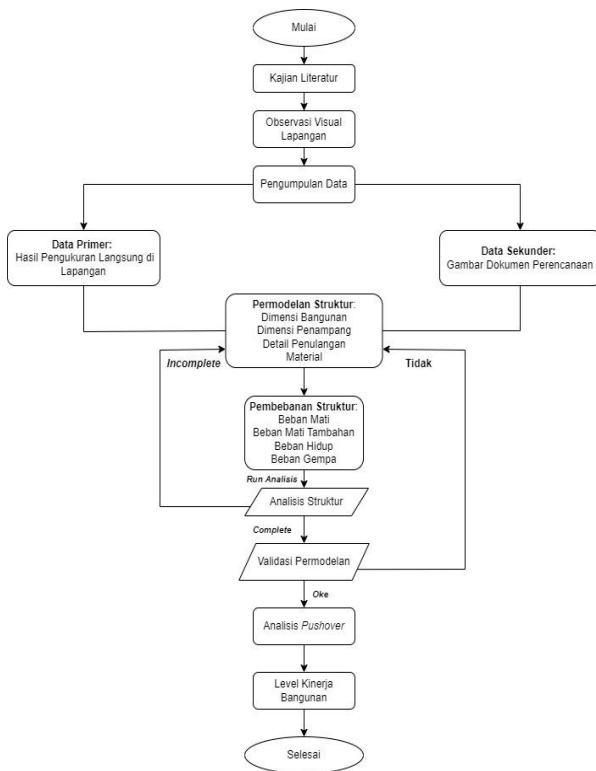
Pembebanan tersebut berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Validasi Permodelan

Setelah melakukan permodelan dan menginput pembebanan struktur, dilakukan tahapan validasi permodelan. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan permodelan yang telah dilakukan benar.

Analisis Struktur dan Analisis Pushover

Analisis struktur dan analisis pushover dilakukan untuk mengetahui nilai besar gaya dalam yang terjadi pada setiap elemen struktur serta untuk mengetahui level kinerja struktur bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang, hingga akhirnya diperoleh kurva kapasitas dari hasil analisis pushover yang menjadi dasar kuat atau tidaknya struktur bangunan tersebut dalam menahan semua beban yang terjadi akibat gempa bumi.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemilihan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Gedung SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang yang meruoakan bangunan yang rawan terhadap tsunami. Hal itu disebabkan oleh letak bangunan yang hanya berjarak 600 m dari

bibir pantai dengan elevasi sebesar 5 m dari permukaan laut.

2. Data Struktur Bangunan

Data struktur yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari dokumen perencanaan bangunan dan pengambilan data di lapangan secara langsung. Adapun data yang didapatkan sebagai berikut:

Tabel 1. Tinggi Bangunan

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Tinggi Bangunan
1	0	0
2	4	4
3	4	8
Atap	4	12
Top Crown	2,1	14,1

Tabel 2. Mutu Struktur Bangunan

Elemen Struktur		Kuat Tekan (MPa)
Kolom	K1	45
	K2	45
	K3	45
Balok	A	42
	B	38
	C	46
	D	47
Pelat	P1	15

Tabel 3. Detail Penampang Kolom

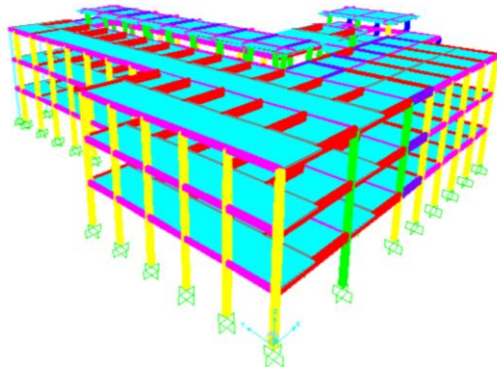
No	Jenis Kolom	Dimensi (mm)	Letak	Tulangan Utama	Sengkang
1	K1	40 x 40	Tumpuan	20 D22	∅10 - 10
			Lapangan	20 D22	∅10 - 15
2	K2	40 x 40	Tumpuan	16 D22	∅10 - 10
			Lapangan	16 D22	∅10 - 15
3	K3	40 x 40	Tumpuan	12 D22	∅10 - 10
			Lapangan	12 D22	∅10 - 15

Tabel 4. Detail Penampang Balok

Jenis Balok	Dimensi	Letak	Tulangan Utama	Sengkang	
A	25 x 65	Tumpuan	Atas	6 D19	∅10 - 8
			Pinggang	2 ∅10	
		Lapangan	Bawah	2 D19	∅10 - 12,5
			Pinggang	2 D19	
B	25 x 65	Tumpuan	Atas	2 D19	∅10 - 20
			Pinggang	2 ∅10	
		Lapangan	Bawah	5 D19	∅10 - 8
			Pinggang	5 D19	

C	25 x 40	Lapangan	Bawah	2 D19	∅10 – 20	
			Atas	2 D19		
		Tumpuan	Pinggang	2 ∅10		
			Bawah	2 D19		
		Lapangan	Atas	5 D16		∅10 – 7,5
			Pinggang	-		
D	20 x 40	Lapangan	Bawah	2 D16	∅10 – 20	
			Atas	2 D16		
		Tumpuan	Pinggang	-		∅10 – 15
			Bawah	2 D16		
		Lapangan	Atas	2 D16		∅10 – 20
			Pinggang	-		
			Bawah	3 D16		

3. Permodelan Struktur



Gambar 3. Struktur Bangunan pada SAP2000

4. Pembebanan

Pembebanan pada bangunan dapat dikategorikan menjadi 3 kategori yaitu: (1) Beban Mati, (2) Beban Hidup, (3) Beban Gempa. Beban gempa yang bekerja pada struktur diambil dari respon spektrum RSA 2019. Adapun nilai besaran beban mati dan beban hidup yang digunakan sesuai dengan PPPUPRG (1987), dan SNI 1727-2019 sebagai berikut:

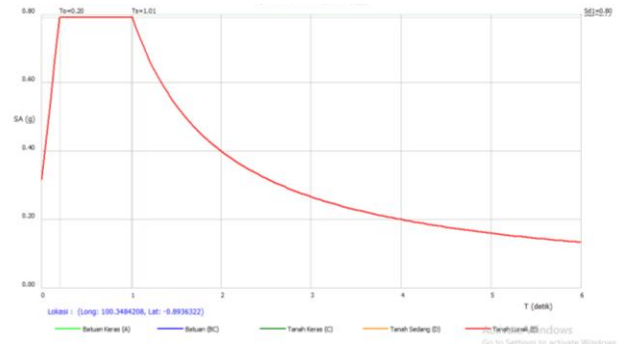
Tabel 5. Beban Mati

Jenis Beban	Berat Jenis
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Baja Tulangan	7850 kg/m ³
Penutup Lantai Keramik	24 kg/m ²
Dinding Pasangan Bata Merah ½ Bata	250 kg/m ²
MEP	25 kg/m ²
Plafond	11 kg/m ²
Langit-langit dan Penggantung	18 kg/m ²
B. Pasir	16 kg/m ²
B. Spesi	21 kg/m ²

Tabel 6. Beban Hidup

Jenis Beban	Berat Jenis
Ruang Kelas	192 Kg/m ²
Koridor di Atas Lantai Pertama	383 Kg/m ²

Ruang Komputer	479 Kg/m ²
Ruang Baca	287 Kg/m ²
Ruang penyimpanan	718 Kg/m ²
Semua Ruang Kecuali Tangga	192 kg/m ²
Gudang	600 Kg/m ²
Atap Bukan Untuk Hunian	96 kg/m ²
Panggung Pertemuan	479
Kursi yang Dapat Dipindahkan	479



Gambar 4. Grafik Respon Spektrum

Adapun parameter respon spektrum yang digunakan adalah:

PGA	= 0,58 g
PGAm	= 0,649 g
SS	= 1,446 g
S1	= 0,6 g
TL	= 20 detik
Fa	= 0,821
Fv	= 2
T0	= 0,201 detik
Ts	= 1,01 detik
Sds	= 0,792139 g
Sd1	= 0,80 g

5. Kombinasi Pembebanan

1,4 D
1,2 D + 1,6 L
1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau S atau R)
1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau S atau R)
0,9D + 1,0W
1,2D + 1,0E + 1,0L
0,9D + 1,0E + 1,2 D + 1,6 R + 0,5 L

6. Gaya geser dasar seismik

$$V = C_s \cdot W$$

$$= 0,1485 \times 2601075,47$$

$$= 386259,707 \text{ Kg}$$

Tabel 7. Gaya Geser Dasar Seismik

OutputCase	GlobalFX (Kgf)	GlobalFy (Kgf)	GlobalFz (Kgf)
EQX	516604,3	12093,66	592,28
EXY	12093,68	505496,7	1228,92

$$V_{\text{arah X}} = 516604,25 \text{ Kg} > V = 386259,707 \text{ Kg}$$

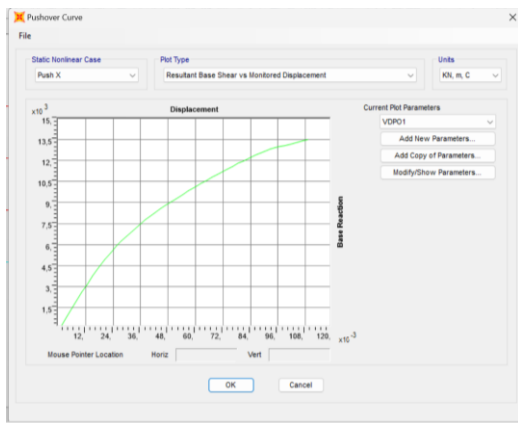
Vt arah Y = 505496,72 Kg > V = 386259,707 Kg
 Vt tidak boleh kurang dari 100% atau 1

Arah X = $V_x/V = 516604,25 / 386259,707$
 $= 1.337 > 1.....OK !$

Arah Y = $V_y/V = 505496,72 / 386259,707$
 $= 1.309 > 1.....OK !$

7. Analisis Pushover

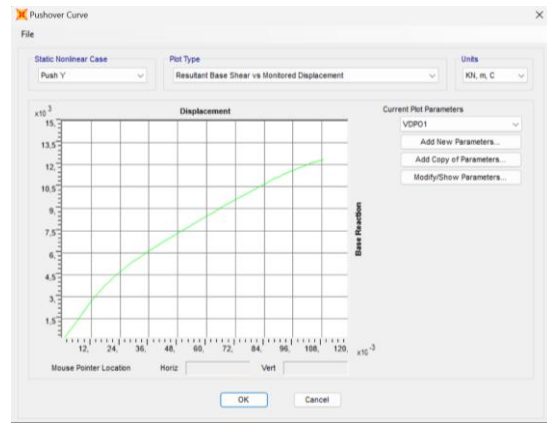
Hasil dari analisis pushover berupa kurva kapasitas yang berisi hubungan antara simpangan atap dengan gaya geser dasar.



Gambar 5. Kurva Kapasitas Arah X

Tabel 8. Data Kurva Kapasitas Push X

Step	Displacement (m)	BaseForce (KN)
0	0,000625	0
1	0,001709	288,616
2	0,003877	865,848
3	0,007126	1731,249
4	0,010394	2591,541
5	0,012608	3151,454
6	0,015139	3767,016
7	0,017432	4299,571
8	0,020437	4927,761
9	0,022917	5422,53
10	0,025502	5909,64

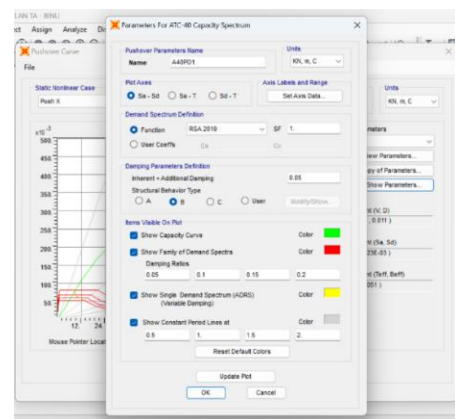


Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah Y

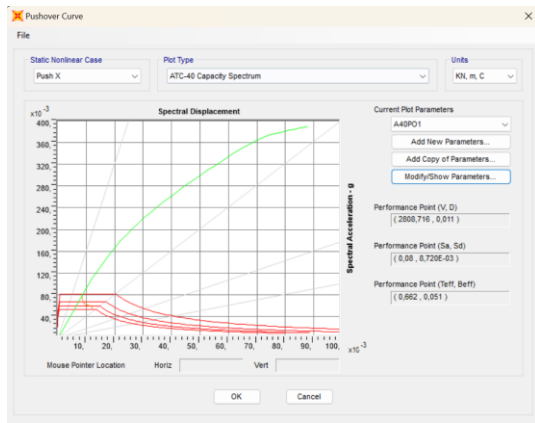
Tabel 9. Data Kurva Kapasitas Push Y

Step	Displacement (m)	BaseForce (KN)
0	0,000144	0
1	0,001576	329,212
2	0,005253	1171,646
3	0,008753	1971,531
4	0,011002	2477,629
5	0,013359	2952,433
6	0,015589	3385,137
7	0,017817	3795,739
8	0,02022	4166,238
9	0,022402	4471,62
10	0,024736	4793,354

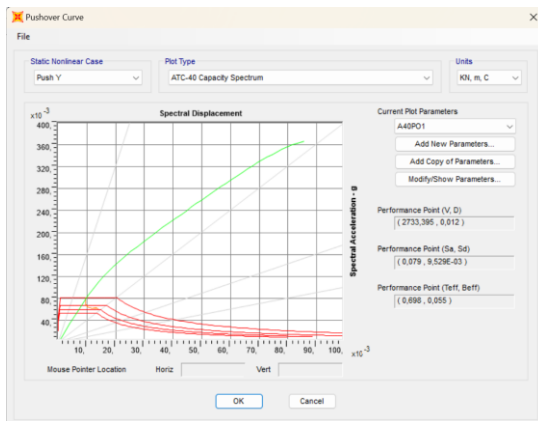
8. Target Perpindahan dengan Spektrum Kapasitas ATC – 40



Gambar 7. Parameter Respon Spektrum



Gambar 8. Kurva Kapasitas Format ADRS Arah X



Gambar 9. Kurva Kapasitas Format ADRS Arah Y

9. Evaluasi Simpangan Izin

Simpangan maksimum dari perpindahan atap berdasarkan performance point pada push x adalah 0,011 m dan pada push Y adalah 0,012 m. Perlu dilakukan kontrol terhadap simpangan lantai (Δ_{max}) terhadap simpangan izin (Δ_a).

Push X

$$\Delta_{max} < \Delta_a$$

$$0,011 < 0,010h_{sx} / \rho$$

$$0,011 < 0,010 \times 14,1 \text{ m} / 1,3$$

$$0,011 < 0,1084 \text{ m, Memenuhi Syarat}$$

Untuk arah-Y

$$\Delta_{max} < \Delta_a$$

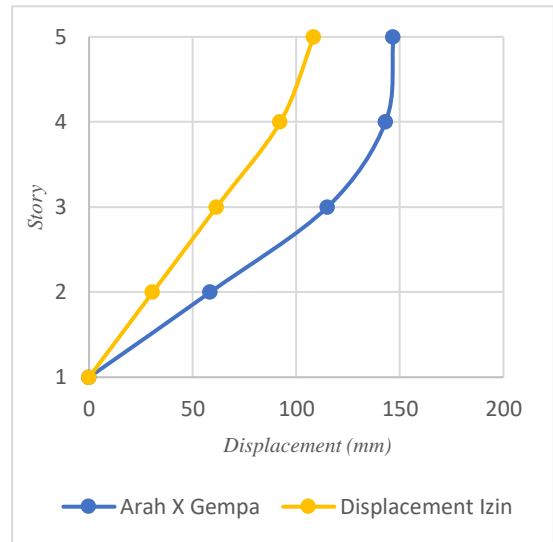
$$0,012 < 0,010h_{sx} / \rho$$

$$0,012 < 0,010 \times 14,1 \text{ m} / 1,3$$

$$0,012 < 0,1084 \text{ m, Memenuhi Syarat}$$

Tabel 10. Displacement Antar Lantai Arah X

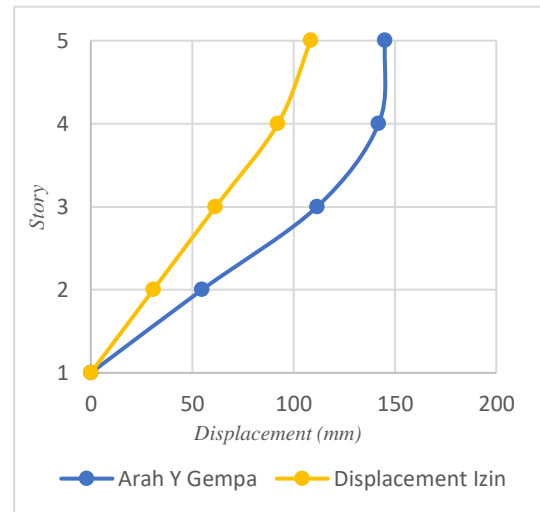
Lantai	1	2	3	Atap	Top Crown
Displacement Akibat	0	58,519	115,064	143,114	146,905
Gempa (mm)					
Displacement Izin (mm)	0	30,769	61,538	92,307	108,461



Gambar 10. Displacement Arah X

Tabel 11. Displacement Antar Lantai Arah Y

Lantai	1	2	3	Atap	Top Crown
Displacement Akibat	0	54,805	111,616	141,987	145,188
Gempa (mm)					
Displacement Izin (mm)	0	30,769	61,538	92,307	108,461



Gambar 11. Displacement Arah Y

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa displacement bangunan akibat gaya gempa dan tsunami lebih besar daripada displacement ijin kondisi eksisting, sehingga bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang tidak aman terhadap displacement arah Y.

10. Kinerja Struktur Bangunan

Penentuan kinerja struktur bangunan dilakukan dengan mengacu pada ATC-40, berikut parameternya:

Tabel 12. Batasan Drift Ratio Atap

Parameter	Level Kinerja			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum in Total Drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,033
Maksimum in Inelastik Drift	0,005	0,005 – 0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Arah-X

$$\text{Total Simpangan maksimum} = \frac{Dt}{H_{tot}} = \frac{0,011}{14,1} = 0,0007801 < 0,01$$

$$\text{Total Simpangan inelastik maksimum} = \frac{Dt-D1}{H_{tot}} = \frac{0,00929}{14,1} = 0,000658 < 0,005$$

Untuk nilai Dt digunakan simpangan maksimum dari perpindahan atap atau *roof displacement* (Δ_{max}) yang didapatkan yaitu 0,011 m. untuk nilai D1 digunakan simpangan step 1 di push-X sebesar 0,00171 m.

Arah-Y

$$\text{Total Simpangan Maksimum} = \frac{Dt}{H_{tot}} = \frac{0,012}{14,1} = 0,000851 < 0,01$$

$$\text{Total Simpangan inelastik Maksimum} = \frac{Dt-D1}{H_{tot}} = \frac{0,010424}{14,1} = 0,0007393 < 0,005$$

Untuk nilai Dt digunakan simpangan maksimum dari perpindahan atap atau *roof displacement* (Δ_{max}) yang didapatkan yaitu 0,012 m. untuk nilai D1 digunakan simpangan step 1 di push-X sebesar 0,001576 m.

Tabel 13. Rekapitulasi Level Kinerja Struktur

Parameter	Push X	Level Kinerja	Push Y	Level Kinerja
Total Simpangan Maksimum	0,0007801	IO	0,000851	IO
Total Simpangan Inelastik Maksimum	0,000658	IO	0,000739	IO

Berdasarkan tabel level kinerja di atas, dapat dilihat bahwa level kinerja struktur masih termasuk dalam **Immediate Occupancy (IO)**. Maka dapat disimpulkan bahwa setelah dikenai beban gempa, bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang masih dapat berdiri kokoh tanpa mengalami kerusakan struktural maupun non-struktural atau hanya mengalami kerusakan ringan pada element strukturnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan *performance point* terhadap analisis *pushover* terhadap gempa, diperoleh hasil drift ratio pada parameter total simpangan maksimum arah X dan arah Y sebesar 0,07801% dan 0,0851%. Hasil tersebut masih lebih kecil dari nilai yang diizinkan oleh ATC – 40 yaitu sebesar 1% untuk level kinerja *Immediate Occupancy*. Untuk simpangan inelastic maksimum arah X dan arah Y sebesar 0,0658% dan 0,07393%. Hasil tersebut melebihi nilai yang diizinkan yaitu sebesar 0,5% untuk level *Immediate Occupancy*. Sehingga level kinerja struktur bangunan tersebut termasuk ke dalam level kinerja *Immediate Occupancy*. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium Padang kuat menahan beban gempa rencana yang terjadi di kota Padang.
2. Nilai simpangan antar lantai yang didapatkan akibat beban gempa lebih kecil daripada simpangan lantai izin menurut SNI 1726-2019. Sehingga bangunan SMA Yayasan Pembangunan Laboratorium tidak aman terhadap simpangan antar lantai pada arah X dan arah Y akibat beban gempa.

SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut saran dalam penelitian agar menjadi penelitian yang lebih baik untuk selanjutnya:

1. Perlu dilakukan perkuatan pada elemen struktur agar bangunan tersebut aman digunakan sebagai tempat evakuasi sementara atau *shelter*.
2. Untuk rekan – rekan yang ingin melanjutkan ini, dapat menjadikan tugas akhir ini sebagai pedoman dalam pelaksanaan analisis struktur lanjutan dan dapat menambahkan dengan memperhitungkan pondasi serta menambahkan *shear wall* sebagai perkuatan struktur bangunan.
3. Perlu data – data yang lebih detail, agar hasil penelitian lebih akurat seperti data perencanaan mutu bangunan, detail penulangan tangga, dan detail penulangan pelat lantai.
4. Perlu dilakukan pengecekan efek *P- delta* bangunan dan efek *irregularitas* bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan*

Gedung dan Penjelasan, SNI 2847-2019. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung*, SNI 1726-2019. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727-2020. Jakarta: BSN

BMKG. (2019). Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018. In Pusat Gempa Bumi dan Tsunami Kedepujian Bidang Geofisika. Diambil pada tanggal 18 Juni 2023 dari <https://cdn.bmkg.go.id/Web/Katalog-Tsunami-Indonesia-pertahun-416-2018.pdf>.

FEMA P-646. (2019). Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation From Tsunamis 3rd Edition. Diambil pada tanggal 16 Juni 2023 dari <ftp://jetty.ecn.purdue.edu/spujol/Andres/files/15-0021.pdf>.

Juliafad, E., & Gokon, H. (2022). Seismic Fragility Function For Single Storey Masonry Wall Rc Building In Padang City, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 22(94), 39-46.

Juliafad, E. (2022). Evaluasi Displacement Horizontal Pasar Raya Padang Blok IV Berdasarkan Gaya Gempa Pada SNI-03-1732-2019. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 22(1), 61-72.

Juliafad, E. (2020). *Investigasi Kerusakan Pada Bangunan Beton Bertulang*. Depok: Rajawali Pers.

Lisyana Junelin Restu. (2021). "Evaluasi Struktur Bangunan Pasar Inpress Blok IV Gedung B dengan Metode Pushover." *Cived*. 8(3). Hlm. 117.

Murtianto, H. (2016). "Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Barat dan Sekitarnya." *Jurnal Geografi Gea*, 10(1).

Mustafa, B. (2010). "Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami." *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*. 2(1). Hlm. 44–50.

Sari, N. W., dkk. (2014). "Mitigasi Gempa dan Tsunami di Kota Padang. *Journal of Public Policy and Management Review*. 3(2). Hlm. 191–201. Diambil pada tanggal 17 Juni 2023 dari <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jppmr/article/view/5127>

Suciati Febrina, H. (2017). "*Analisis kerentanan bangunan dengan pengujian mikrotremor studi kasus di daerah rawan pergerakan tanah.*" Laporan Penelitian. Universitas Negeri Semarang.