

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG SMP PEMBANGUNAN LABORATORIUM UNP TERHADAP BEBAN GEMPA

Nurul Mifthahul Annisa¹ Prima Yane Putri²

¹ Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

² Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Email: nurul.m.annisa@gmail.com

Abstrak: Kota Padang merupakan daerah yang memiliki potensi tinggi terhadap gempa bumi dan tsunami. Untuk meminimalisir dampak akibat kejadian tersebut, maka disediakan tempat evakuasi sementara/*shelter*. Salah satunya adalah Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP. Mengingat fungsinya sebagai *shelter*, maka perlu dilakukan evaluasi untuk memastikan kondisi bangunan tetap aman untuk digunakan sebagai *shelter* serta agar proses evakuasi berhasil. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kriteria kinerja struktur sehingga dapat diketahui apakah Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP dapat dijadikan sebagai *shelter* atau tidak. Analisis struktur menggunakan SAP 2000 dengan 2 tahapan utama. Pertama, analisis beban gempa menggunakan metode analisis pushover yang berpedoman kepada FEMA 440-2015. Pada tahapan ini akan diketahui kriteria kinerja bangunan yang terdiri dari *operational*, *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS), *collapse prevention* (CP). Kedua, analisis beban tsunami mengacu pada FEMA P-646-2019 yang melibatkan berbagai gaya seperti gaya hidrostatis, gaya apung, gaya hidrodinamik, gaya impuls, gaya akibat benturan puing-puing, gaya bendung puing-puing, gaya angkat hidrodinamis, gaya tambahan gravitasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa akibat pembebanan arah X dan arah Y diperoleh *drift aktual* sebesar 0,0101 dan 0,0102. Hasil *drift aktual* tersebut masih tidak lebih dari 1%, seperti yang disyaratkan dalam FEMA 440-2015 untuk kriteria kinerja bangunan level *immediate occupancy* (IO). Sehingga dapat disimpulkan bahwa Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP masih cukup kuat untuk menahan beban gempa yang terjadi.

Kata Kunci: *analisis pushover, FEMA P-646-2019, FEMA 440, beban gempa*

Abstract : Padang City is an area that has a high potential for earthquakes and tsunamis. To minimize the impact of such incidents, temporary evacuation places/shelters are provided. One of these is the building of SMP Pembangunan Laboratorium UNP. Given its function as a shelter, it is necessary to evaluate the building to ensure its condition remains safe for use as a shelter and for the evacuation process to be successful. This study aims to determine the structural performance criteria to ascertain whether the SMP Pembangunan Laboratorium UNP building can be used as a shelter. The structural analysis utilizes SAP2000 and consists of two main stages. Firstly, earthquake load analysis employs the pushover analysis method guided by FEMA 440-2015. At this stage, the building performance criteria comprise *operational*, *immediate occupancy* (IO), *life safety* (LS), and *collapse prevention* (CP). The determination of these criteria is based on the displacement target value in the FEMA 440-2015 displacement modification method. Secondly, tsunami load analysis refers to FEMA P-646-2019. The tsunami load input includes hydrostatic force, buoyancy force, hydrodynamic force, impulse force, force due to debris impact, debris weir force, and additional gravitational force. Based on the results of the pushover analysis under loading in directions X and Y, actual drifts of 0.0101 and 0.0102 respectively were obtained. These actual drifts are still less than 1%, as required by FEMA 440-2015 for *immediate occupancy* (IO) level building performance criteria. Therefore, it can be concluded that the SMP Pembangunan Laboratorium UNP building is sufficiently strong to withstand the earthquake's impact.

Keywords: *pushover analysis, FEMA P-646-2019, FEMA 440, earthquake load*

PENDAHULUAN

Kota Padang sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Barat terletak dalam zona tumbukan 2 lempeng aktif yang meningkatkan potensi gempa bumi dan tsunami (Restu, 2021). Data pemodelan tsunami oleh BMKG menunjukkan bahwa, skenario terburuk dapat melibatkan gempa bumi berkekuatan 8,9 magnitudo yang berpotensi menyebabkan tsunami dengan ketinggian mencapai 10 meter dan waktu kedatangan kurang dari 30 menit di pesisir pantai Kota Padang (Situmorang, 2022). Untuk meminimalisir dampak akibat tsunami tersebut, salah satu strategi yang dapat diterapkan berupa penyediaan tempat evakuasi sementara/*shelter*.

Di Kota Padang, beberapa bangunan telah dibangun khusus sebagai *shelter* serta beberapa gedung lain yang juga digunakan sebagai *shelter* seperti kantor, hotel, rumah sakit, pasar, maupun fasilitas pendidikan. Salah satunya adalah Universitas Negeri Padang (UNP). Berdasarkan penelitian Ashar dkk (2021) tentang analisis penempatan gedung evakuasi vertikal di lingkungan kampus UNP, ditemukan bahwa civitas akademika yang berada di lingkungan kampus UNP dapat mengevakuasi diri dalam jangka waktu 10 menit menuju potensial *shelter* terdekat dengan jarak jangkauan 450,6 meter.

Merujuk pada penjelasan di atas, untuk menunjang kelancaran dan keberhasilan proses evakuasi, perlu dilakukan pemeriksaan struktur bangunan yang digunakan sebagai *shelter*. Hal ini penting untuk memastikan bahwa bangunan tersebut tetap aman, kuat, dan dapat difungsikan dengan baik. Salah satu contoh *shelter* yang berada di lingkungan kampus UNP adalah SMP Pembangunan Laboratorium UNP.

Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP mulai dibangun pada tahun 2012 dan mulai ditempati pada tahun 2014 (Fivaldi, 2019). Dalam waktu 9 tahun sejak operasionalnya, gedung ini dapat mengalami penurunan kinerja. Mengingat fungsinya sebagai *shelter*, maka perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP.



Gambar 1. Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP terhadap beban gempa dan beban tsunami sehingga dapat diputuskan apakah gedung ini layak digunakan sebagai *shelter* atau tidak.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Nonlinear Static Pushover Analysis* (Analisis Pushover) yang berpedoman pada FEMA 440-2005 untuk analisis gempa, serta P-646-2019 untuk analisis beban tsunami. Analisis struktur dilakukan menggunakan *software* SAP 2000.

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data primer berupa data hasil pemeriksaan visual bangunan, pengujian kuat tekan beton eksisting menggunakan alat *rebound hammer*, serta pemeriksaan ketebalan selimut beton menggunakan *rebar scanner*.
2. Data sekunder yang digunakan berupa gambar kerja serta dokumen spesifikasi material Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP.

Proses analisis struktur pada SAP 2000 dilakukan dalam 2 tahap, yaitu analisis beban gempa menggunakan metode analisis pushover untuk menentukan kriteria level kinerja bangunan berdasarkan FEMA 440-2005. Kriteria level kinerja bangunan terdiri dari 4 tingkatan, yaitu:

1. *Operational*
Operational merupakan kondisi di mana semua sistem struktur masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang tetap, serta simpangan yang terjadi setelah gempa bumi dianggap nihil.
2. *Immediate Occupancy* (IO)
Secara umum bangunan dikategorikan sebagai rusak ringan. Setelah dikenai beban gempa, kekakuan dan kekuatan bangunan hanya berkurang sedikit, serta hanya terdapat kerusakan kecil. Bangunan dapat langsung digunakan kembali beberapa saat setelah terjadinya gempa bumi.
3. *Life Safety* (LS)
Secara umum bangunan dikategorikan sebagai rusak sedang, komponen struktur masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup, namun memerlukan perbaikan sebelum dapat digunakan kembali.
4. *Collapse Prevention* (CP)

Secara umum bangunan diklasifikasikan sebagai rusak berat. Elemen struktur masih berfungsi tetapi kekuatan dan kekakuan telah berkurang secara signifikan. Bangunan hampir mengalami keruntuhan.

Kriteria kinerja di atas diklasifikasikan berdasarkan nilai *drift*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *drift* atau simpangan sebagai berikut:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (1)$$

Tabel 1. Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life Safety</i> (LS)	2,0	<i>Transient</i>
<i>Collapse Prevention</i> (CP)	4,0	<i>Transient</i> atau <i>Permanent</i>

Sumber: FEMA 440-2005

Apabila diperoleh kriteria kinerja Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP berada pada level *immediate occupancy* (IO), maka akan dilakukan analisis beban tsunami yang mengacu pada FEMA P-646-2019. Analisis struktur ini akan menggunakan kombinasi pembebanan yang meliputi:

- Kombinasi Pembebanan Dasar
 - 1,4D
 - 1,2D + 1,6L
- Kombinasi Pembebanan untuk Beban Gempa
 - $(1,2 + 0,2S_{DS})D + E + L$
 - $(0,9 - 0,2S_{DS})D + E$
- Kombinasi Pembebanan untuk Beban Tsunami
 - $1,2D + 1,0T_s + 1,0L_{ref} + 0,25L$
 - $0,9D + 1,0T_s$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pemeriksaan Bangunan

Pemeriksaan visual terhadap bangunan menunjukkan, terdapat beberapa elemen struktur seperti balok dan kolom yang mengalami keretakan. Selain itu, juga terdapat kerusakan pada plafond lantai 3.



Gambar 2. Retak pada Kolom

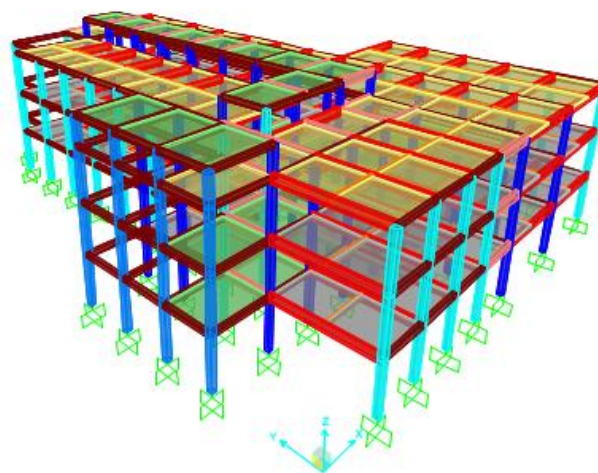


Gambar 3. Kerusakan pada Plafond

Hasil pemeriksaan kuat tekan beton menggunakan *rebound hammer* menunjukkan nilai f_c' sebesar 33 MPa. Sedangkan untuk pemeriksaan tebal selimut beton menggunakan *rebar scanner* diperoleh ketebalan selimut beton eksisting yaitu 3 cm.

2. Pemodelan Struktur

Berikut hasil pemodelan struktur menggunakan SAP 2000.



Gambar 4. Pemodelan Struktur

Data-data terkait detail elemen struktur serta spesifikasi material akan diinputkan pada tahapan ini. Berikut detail penampang struktur yang diinputkan.

Tabel 2. Detail Penampang Kolom

Jenis Kolom	Dimensi (cm)	Tulangan Utama	Tulangan Senggang
K1	40 x 40	20D22	D10 – 150 mm
K2	40 x 40	16D22	D10 – 150 mm
K3	40 x 40	12D22	D10 – 150 mm

Tabel 3. Detail Penampang Balok

Jenis Balok	D	Daerah	Tulangan Utama	Tulangan Senggang	
A (8 m)	25x65	T	Atas	4D19	D10 – 80 mm
			Pinggang	2D19	
			Bawah	2D19	
		L	Atas	2D19	D10 – 200 mm
Pinggang	2D19				

			Bawah	4D19	
B (4 m)	25x65	T	Atas	4D19	D10 – 80 mm
			Pinggang	2D19	
			Bawah	2D19	
		L	Atas	2D19	D10 – 200 mm
Pinggang	2D19				
Bawah	2D19				
C (4 m)	25x40	T	Atas	4D16	D10 – 75 mm
			Bawah	2D16	
		L	Atas	2D16	D10 – 200 mm
			Bawah	5D16	
D (4 m)	20x40	T	Atas	3D16	D10 – 150 mm
			Bawah	2D16	
		L	Atas	2D16	D10 – 200 mm
			Bawah	3D16	

(T: tumpuan. L: lapangan)

Tabel 4. Dimensi Penampang Pelat

Jenis Pelat	Tebal
Pelat Lantai	12 cm
Pelat Atap	12 cm

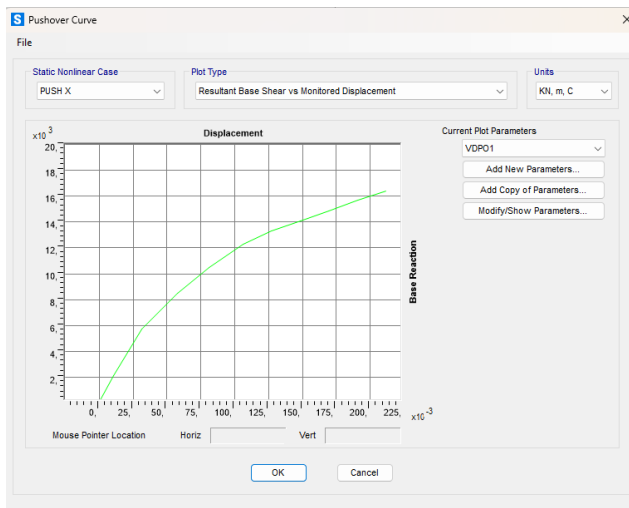
3. Pembebanan Struktur

Beban yang akan diinputkan ke pemodelan mencakup:

- Beban mati tambahan, yang terdiri dari beban mati tambahan pelat lantai dan dinding. Mengacu pada PPPUPRG (1987)
- Beban hidup yang diinputkan pada pelat sesuai dengan fungsional bangunan. Berdasarkan SNI 1727-2020.
- Beban gempa, menggunakan analisis respon spektrum yang diperoleh dari *website* Desain Spektra Indonesia berdasarkan SNI 1726-2019.
- Beban tsunami berdasarkan FEMA P-646-2019.

4. Analisis Pushover

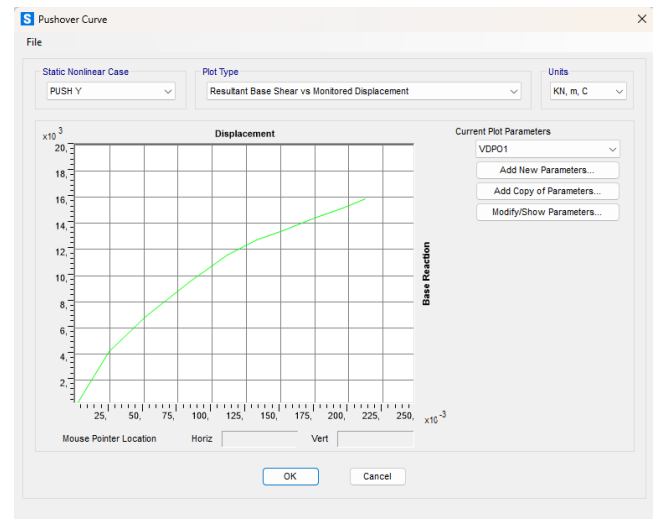
Analisis pushover menghasilkan kurva kapasitas yang menunjukkan korelasi antara gaya geser dasar dan simpangan atap.



Gambar 5. Kurva Kapasitas Arah X

Tabel 5. Data Kurva Kapasitas Push X

Step	Displacement (m)	Base Force (kN)
0	-0,000309	0
1	0,010266	2299,163
2	0,039641	7113,384
3	0,06122	9401,463
4	0,091033	12062,003
5	0,112183	13347,074
6	0,13862	14464,823
7	0,15977	15280,009
8	0,18092	16187,182
9	0,203805	17166,442
10	0,211191	17451,63



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah Y

Tabel 6. Data Kurva Kapasitas Push Y

Step	Displacement (m)	Base Force (Kn)
0	0,000432	0
1	0,011007	2155,922
2	0,023645	4275,215
3	0,044796	6618,618
4	0,066491	8650,385
5	0,088884	10624,555
6	0,110829	12280,289
7	0,111766	12335,14

5. Evaluasi Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar (V) yang diperoleh dari hasil analisis pushover tidak boleh lebih kecil dari nilai gaya geser pendekatan ($V_t > V$). Dalam analisis pushover, gaya geser dasar (V) diperoleh pada saat pelelehan pertama, untuk arah x sebesar 5980,7075 kN dan untuk arah y sebesar 5546,624 kN. Diketahui gaya geser dasar (V) sebesar 5302,245 kN.

- Arah X

$$V_x > V$$

$$5980,7075 \text{ kN} > 5302,245 \text{ kN}$$

Memenuhi Syarat

- b. Arah Y
 $V_y > V$
 $5546,624 \text{ kN} > 5302,245 \text{ kN}$
Memenuhi Syarat

Berdasarkan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa gaya geser dasar hasil analisis pushover memenuhi syarat yang ditetapkan.

6. Evaluasi Simpangan Ijin

Simpangan maksimum dari perpindahan atap atau *roof displacement* (Δ_{max}) diperoleh dengan mengambil nilai simpangan maksimum pada arah x dan arah y.

Tabel 7. Simpangan Maksimum Atap

	U1	U2	U3
Arah X	0,212509	0,00018	-0,000598
Arah Y	0,001192	0,111292	-0,000723

Untuk arah x digunakan nilai simpangan U1 tertinggi:

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

$$0,212509 < 0,015h_{sx} / \rho$$

$$0,212509 < 0,015 \times 12 \text{ m} / 1,3$$

$$0,212509 < 0,13846 \quad \textbf{Tidak Memenuhi}$$

Untuk arah y digunakan nilai simpangan U2 tertinggi:

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

$$0,111292 < 0,015h_{sy} / \rho$$

$$0,111292 < 0,015 \times 12 \text{ m} / 1,3$$

$$0,111292 < 0,13846 \quad \textbf{Memenuhi}$$

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa nilai simpangan hasil analisis pushover untuk arah x tidak memenuhi persyaratan, karena melebihi nilai simpangan yang diijinkan, sementara untuk arah y masih memenuhi syarat.

7. Kriteria Kinerja Struktur

Berdasarkan parameter metode *displacement modification* FEMA 440-2005 arah x dan y yang telah diperoleh sebelumnya, target perpindahan (δT) dapat diketahui menggunakan persamaan (1).

$$\begin{aligned} \text{Drift Aktual X} &= \delta T / H_{total} \\ &= 0,14243 / 14,1 \\ &= 0,010101 < 1 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Drift Aktual Y} &= \delta T / H_{total} \\ &= 0,14513 / 14,1 \\ &= 0,010293 < 1 \text{ (IO)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh bahwa kriteria kinerja struktur Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP berada pada level *immediate occupancy* (IO). Struktur ini

dikategorikan rusak ringan, dengan kekuatan dan kekakuan struktur hanya berkurang sedikit, serta kerusakan kecil pada elemen non struktur. Bangunan dapat digunakan kembali, beberapa saat setelah terjadinya gempa bumi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pushover yang mengacu pada *Displacement Modification* FEMA 440, kriteria kinerja Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP ditemukan berada pada level *immediate occupancy* (IO) dengan *drift* aktual untuk pembebanan arah x dan arah y masing-masing sebesar 0,0101 dan 0,0103. Dikarenakan nilai ini tidak lebih besar dari *drift* ijin yaitu 1%., dapat disimpulkan bahwa Gedung SMP Pembangunan Laboratorium UNP memiliki daya tahan yang cukup terhadap beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. (2006). Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 17–18.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington DC.
- FEMA P-646. (2019a). *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation From Tsunamis 3rd Edition*. Jetty.Ecn.Purdue.Edu, August, 176. Diakses melalui *website* https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_earthquakes_guidelines-for-design-of-structures-for-vertical-evacuation-from-tsunamis-fema-p-646.pdf
- FEMA P-646. (2019b). *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation From Tsunamis 3rd Edition*. Jetty.Ecn.Purdue.Edu, August, 176.
- Restu, L. J. (2021). Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Pasar Inpres Blok IV Terhadap Beban Tsunami. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1689–1699. Diakses melalui *website* <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>.
- Situmorang, H. D. (2022). BMKG: Kota Padang Rawan Terjadi Gempa Bumi dan Tsunami. *Berita Satu*. Diakses melalui *website* <https://www.beritasatu.com/news/983849/bmkg-kota-padang-rawan-terjadi-gempa-bumi-dan-tsunami/all>.

SNI 1726. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. 8.

SNI 1727. (2020). Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727: 2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain sebagai revisi dari Standar Nasional Indonesia 1727: 2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan. 8.