

## Evaluasi Kinerja Seismik Gedung SMP Negeri 2 Banda Aceh Menggunakan Metode *Pushover Analysis*

Agus\*, Meli Muchlian & Fadel Deva Ramadhan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo,  
Padang – 25 143, Indonesia

Email: [mscagus@yahoo.co.id](mailto:mscagus@yahoo.co.id)

Dikirim: 15 Oktober 2024

Direvisi: 20 Januari 2025

Diterima: 23 Januari 2025

### ABSTRAK

Gempabumi yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 mengakibatkan banyaknya kerusakan yang terjadi pada gedung-gedung di Aceh, salah satunya yaitu gedung SMP Negeri 2 Kota Banda Aceh. Pasca gempabumi tersebut salah satu Gedung SMP Negeri 2 Kota Banda Aceh dibangun kembali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja seismik bangunan gedung baru SMP Negeri 2 Kota Banda Aceh, berupa perpindahan (*displacement*) dan simpangan antar tingkat (*drift*), sesuai dengan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Penelitian dilakukan dengan metode *pushover analysis* menggunakan program SAP2000. Sebagai standar analisis digunakan beberapa metode yaitu ATC-40, FEMA 356 dan SNI 1726: 2019. Hasil penelitian menyatakan bahwa, nilai gaya geser maksimum yang didapatkan pada *pushover* arah X sebesar 3288,904 kN dengan nilai *displacement* sebesar 0,064 m, sedangkan nilai maksimum gaya geser yang didapatkan pada *pushover* arah Y sebesar 2724,022 kN dengan nilai *displacement* sebesar 0,022 m. Nilai *drift ratio* yang didapatkan pada metode ATC-40 untuk arah X sebesar 0,050% dan arah Y sebesar 0,046%, pada metode FEMA 356 untuk arah X sebesar 0,061% dan arah Y sebesar 0,058%, dan pada metode SNI 1726: 2019 untuk arah X sebesar 0,056% dan arah Y sebesar 0,055%. Berdasarkan nilai *drift ratio* yang didapatkan level kinerja struktur termasuk kategori *Immediate Occupancy* (IO) yaitu kondisi di mana kerusakan pada struktur yang diakibatkan oleh gempabumi tidak terlalu berarti. Struktur bangunan bisa dikatakan hampir sama kekakuannya pada saat sebelum terjadinya gempabumi maka struktur bangunan masih kuat dan aman untuk ditempati.

**Kata kunci:** analisis *pushover*, *displacement*, *drift ratio*, level kinerja

### 1. PENDAHULUAN

Kerusakan bangunan bahkan keruntuhan banyak terjadi akibat gempabumi. Salah satu gempabumi yang sangat besar yang pernah terjadi di Indonesia adalah gempabumi di Aceh pada tanggal 26 Desember 2004. Keruntuhan gedung beton bertulang umumnya disebabkan kegagalan pada struktur kolom (Maidiawati and Sanada, 2008). Selain itu bentuk denah juga mempengaruhi respons struktur akibat gempabumi (Abd-el-rahim and Farghaly, 2010). Bangunan yang lebih sering mengalami deformasi dan kerusakan ketika terjadi gempabumi biasanya terjadi akibat adanya pengaruh eksentrisitas gaya pada pusat massa bangunan (Agus et al., 2018).

Untuk menyelidiki kerentanan bangunan yang ada akibat gempa, analisis statis nonlinier *pushover* dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan nyata dari bangunan yang ada. Banyak studi membuktikan bahwa analisis *pushover* dapat memberikan gambaran hasil evaluasi kinerja seismik yang memadai (Dewobroto, 2005). Evaluasi kinerja seismik struktur bangunan Tower Arlington Bekasi menunjukkan tingkat kinerja untuk bangunan adalah *Immediate Occupancy* (IO) terpenuhi secara aktual dengan analisis *pushover*. Terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok, mengkonfirmasi konsep desain *strong column weak beam* mempengaruhi tingkat kinerja seismik bangunan beton bertulang tersebut (Agus and Mardiahqsha, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja seismik bangunan gedung, berupa perpindahan (*displacement*) dan simpangan antar tingkat (*drift*), sesuai dengan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Analisis dilakukan dengan metode *pushover*, sedangkan objek penelitian adalah gedung baru, bangunan beton bertulang tiga lantai SMP Negeri 2 Banda Aceh. Evaluasi kinerja seismik bangunan gedung ini menjadi menarik karena dibangun di daerah resiko gempa kuat.

Tingkat kinerja seismik mendeskripsikan kerusakan yang dialami bangunan pasca gempa. Sebagai estimasi kinerja seismik bangunan, karakteristik dan kriteria kegagalan dari beberapa standar digunakan sebagai metodologi. Sesuai perkembangan penyelidikan yang dilakukan setiap negara, banyak negara selalu menetapkan dan memperbarui standar seismik mereka. Beberapa standar yang menetapkan tingkat kinerja seismik bangunan antara lain adalah SNI 1726:2019, ATC-40 dan FEMA 356.

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan. Dalam SNI 1726:2019 simpangan antar tingkat (drift) desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ).

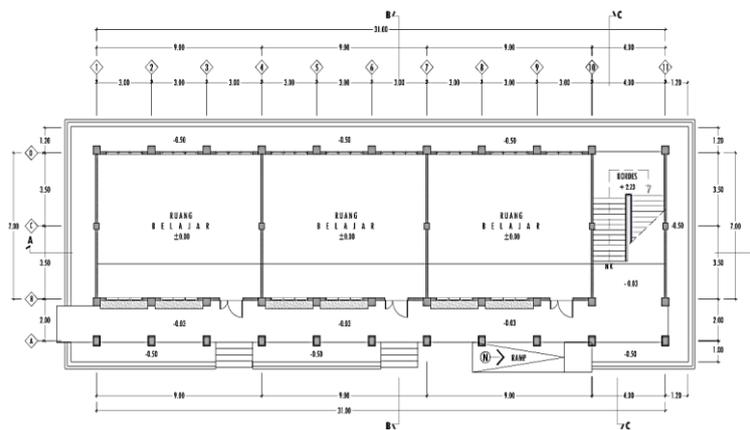
ATC-40 membedakan tingkatan kinerja bangunan menjadi lima tahapan yaitu: (1) *Immediate Occupancy* (IO) yaitu kondisi yang menjelaskan sistem penahan beban vertikal dan lateral bangunan hampir sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa, dan resiko korban jiwa akibat keruntuhan struktur dapat diabaikan; (2) *Damage Control* yaitu kondisi di mana setelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam *range* antara IO dan LS; (3) *Life Safety* (LS) yaitu kondisi di mana setelah terjadinya gempa, kerusakan yang penting terhadap struktur terjadi. Komponen utama struktur tidak terdislokasi dan runtuh, sehingga resiko korban jiwa terhadap kerusakan struktur sangat rendah; (4) *Limited Safety* yaitu kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam *range* antara LS dan CP; dan (5) *Structural Stability / Collapse Prevention* (CP) yaitu kondisi struktur setelah terjadinya gempa sangat parah, sehingga bangunan dapat mengalami keruntuhan struktur baik sebagian maupun total dan kemungkinan terjadinya korban jiwa akibat kerusakan struktur besar. FEMA 356 menentukan level kinerja struktur harus dicek terhadap batasan simpangan yang ditetapkan seperti yang dipaparkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Batasan Simpangan untuk Level Kinerja Struktur (FEMA 356, 2000)

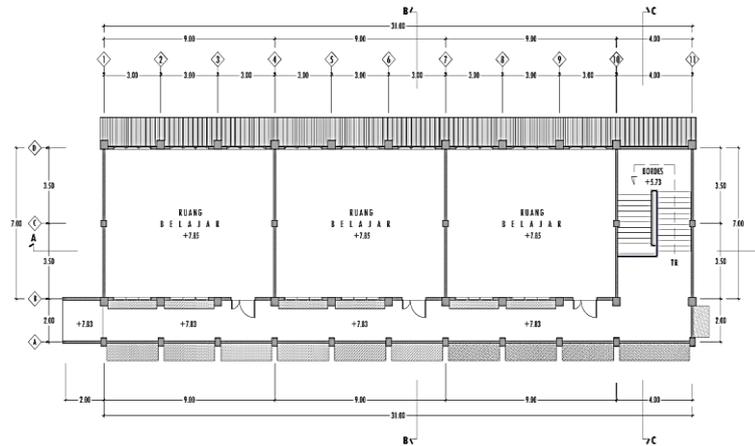
Level Kinerja Struktur	Drift Ratio (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	< 1,0	<i>Transient</i>
<i>Life Safety</i>	1,0 – 2,0	<i>Transient Permanen</i>
<i>Collapse Prevention</i>	4,0	<i>Transient</i> atau <i>Permanen</i>

**2. METODE PENELITIAN**

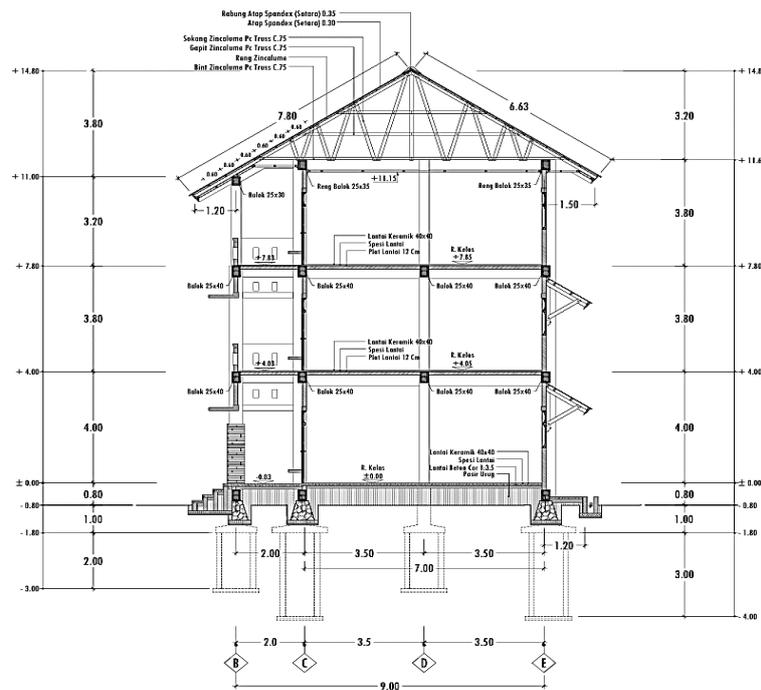
Objek bangunan adalah Gedung SMPN 2 Kota Banda Aceh, tepatnya di Bandar Baru, Kec. Kuta Alam, Kota Banda Aceh. Gedung ini merupakan gedung tiga lantai dengan ketinggian lantai satu 4 meter, ketinggian lantai dua 3,8 meter, dan ketinggian lantai tiga 3,8 meter. Total ketinggian struktur bangunan yaitu 11,6 meter (tidak termasuk atap). Mutu beton ( $f_c'$ ) yang digunakan yaitu 20,72 MPa, mutu baja ( $f_y$ ) yang digunakan yaitu 320 MPa tulangan ulir dan 240 MPa tulangan polos. Data tersebut diambil dari dokumen perencanaan gedung. Gambar 1(a) dan 1(b) dan 2 adalah denah bangunan dan potongan tampak samping bangunan. Tingkat kinerja seismik bangunan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 1726:2019, ATC-40 dan FEMA 356.



**Gambar 1(a).** Denah Bangunan



Gambar 1(b). Denah Bangunan



Gambar 2. Potongan B-B

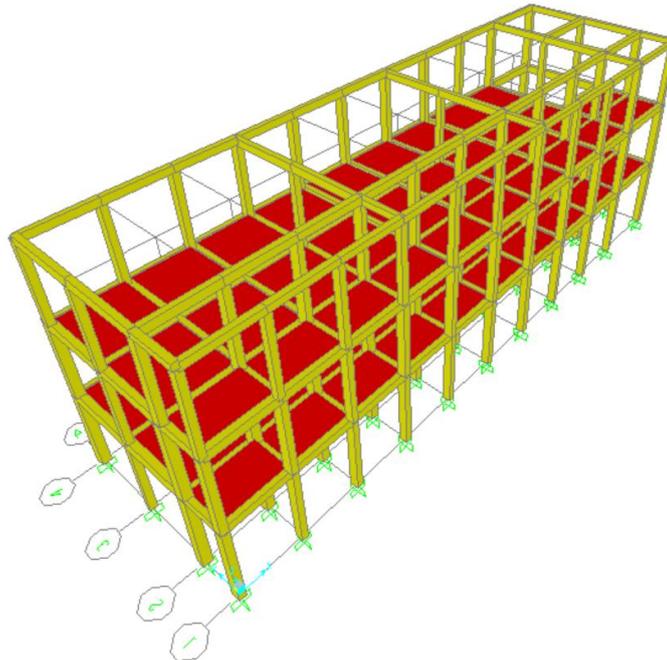
Pemodelan dilakukan dalam 3 dimensi (3D) dan analisis struktur menggunakan *software* SAP 2000. Diperkirakan bahwa fondasi bangunan dapat memberikan batasan terhadap translasi dan rotasi, untuk itu seluruh tumpuan bangunan dimodelkan dalam bentuk tumpuan jepit (*fixed*). Dalam analisis *pushover* ini, digunakan metode *displacement control*. Sebagai titik kontrol atau titik yang ditinjau ditetapkan pada lantai paling atas yaitu lantai 3 yang posisinya di pojok kanan atas. Adapun keberadaan elemen dinding bata pada gedung dalam analisis *pushover* ini diabaikan.

Perhitungan perencanaan dan analisis bangunan ini berdasarkan standar yang telah ditetapkan antara lain:

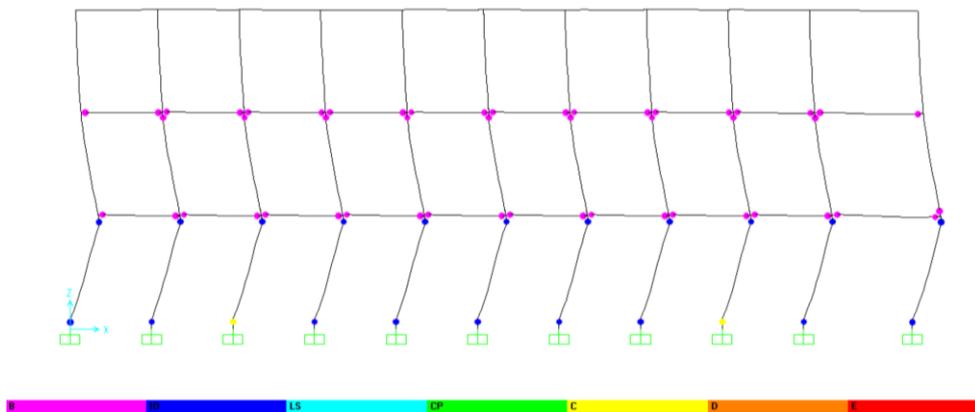
- *Applied Technology Council (ATC-40)*, Evaluasi seismik dan retrofit bangunan beton.
- *Federal Emergency Management Agency (FEMA 356)*, Prosedur analisis seismik statik nonlinear.
- SNI 1726: 2019, Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
- SNI 1727: 2020, Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 3 merupakan pemodelan struktur 3D menggunakan program SAP 2000 yang mencakup struktur balok, kolom dan pelat lantai. Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa mulai terbentuknya sendi plastis dengan nilai *displacement* sebesar 0,003568 m dan nilai *base force* sebesar -3350,299 kN pada arah X (Gambar 4) dan dengan nilai *displacement* sebesar -0,008514 m dan nilai *base force* sebesar 1877,421 kN pada arah Y (Gambar 5).



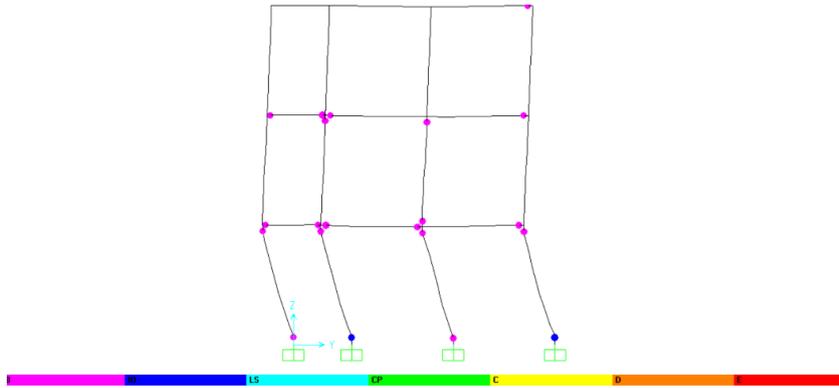
**Gambar 3.** Pemodelan Struktur 3D



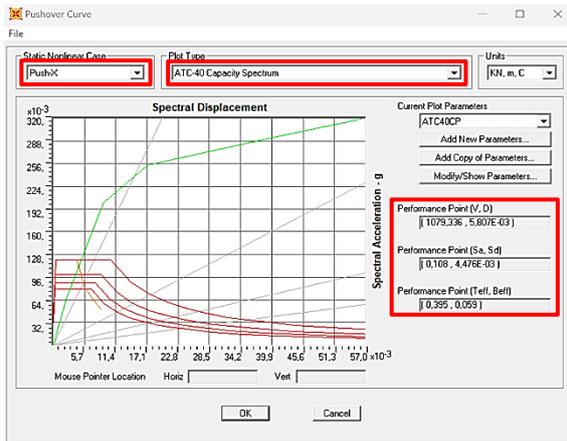
**Gambar 4.** Step akhir pembentukan sendi plastis *push-X*

Pada elemen balok dan elemen kolom struktur yaitu pada arah X maupun pada arah Y, pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada elemen balok struktur, kemudian diikuti dengan elemen kolom struktur pada step berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa struktur sudah memenuhi konsep *strong column weak beam* (kolom kuat balok lemah) sebagaimana sistem rangka pemikul momen khusus yang disyaratkan SNI 2847-2019 yang bertujuan untuk mencapai sistem kolom kuat balok lemah.

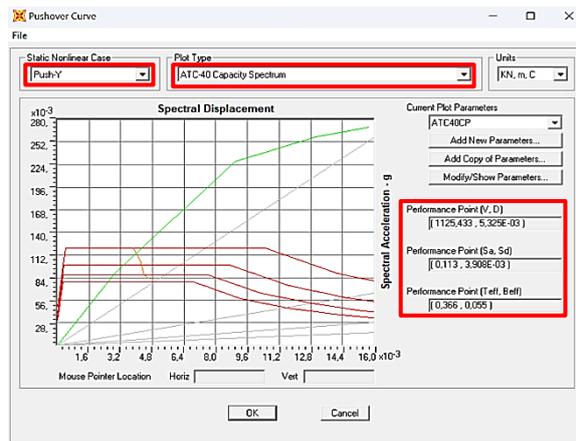
Hasil dari analisis *pushover* berupa kurva kapasitas menampilkan perbandingan gaya geser terhadap perpindahan yang terjadi. Hasil kurva kapasitas ATC-40 didapat gaya lateral maksimum sebesar 3288,904 kN dan nilai perpindahan sebesar 0,064 m (arah X) dan gaya lateral maksimum sebesar 2724,022 kN dan nilai perpindahan sebesar 0,022 m (arah Y). Titik kinerja (performance point) terdapat pada perpotongan garis kurva kapasitas dengan garis *demand* spektrum (Gambar 6 dan 7).



Gambar 5. Step akhir pembentukan sendi plastis push-Y



Gambar 6. Performance point push-X ATC-40

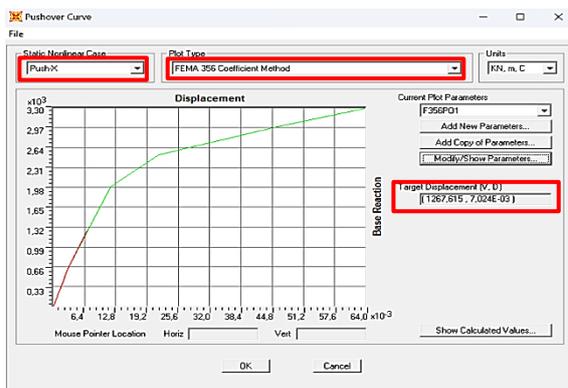


Gambar 7. Performance point push-Y ATC-40

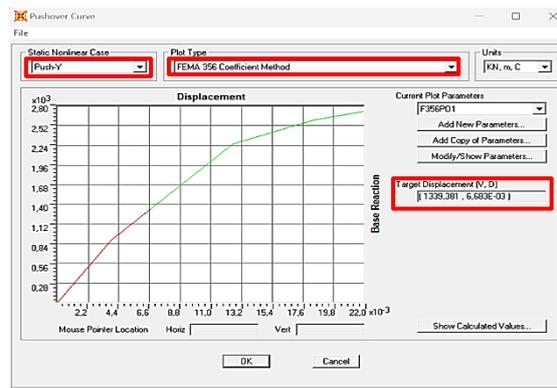
Berdasarkan ATC-40 untuk menentukan level kinerja dari struktur bangunan dilakukan analisis kinerja sebagai berikut:

1. Simpangan total maksimum  
 Arah X =  $D_t H_{total} = ((5,807)(11600)) \text{ mm} = 0,001 < 0,01 \text{ (IO)}$   
 Arah Y =  $D_t H_{total} = ((5,325)(11600)) \text{ mm} = 0,001 < 0,01 \text{ (IO)}$
2. Simpangan in-elastis maksimum  
 Arah X =  $((D_t - D_1) H_{total} = ((5,807 - 3,076)(11600)) \text{ mm} = 0,0002 < 0,005 \text{ (IO)}$   
 Arah Y =  $((D_t - D_1) H_{total} = ((5,325 - 3,861)(11600)) \text{ mm} = 0,0001 < 0,005 \text{ (IO)}$

Selanjutnya untuk kurva kapasitas FEMA 356 *Coefficient Method* menampilkan perbandingan antara displacement dengan gaya geser. Titik performance point terdapat pada perpotongan antar garis kurva kapasitas (hijau) dengan garis kurva bilinear (merah) dengan arah masing-masing yaitu sebesar 1267,615 kN dan 1339,381 kN dengan perpindahan sebesar 0,007024 m dan 0,006683 m (Gambar 8 dan 9).



Gambar 8. Performance point push-X FEMA 356



Gambar 9. Performance point push-Y FEMA 356

Berdasarkan FEMA 356 untuk menentukan level kinerja dari struktur bangunan dilakukan analisis kinerja sebagai berikut:

1. *Pushover* arah X  
Maksimum total *drift ratio*,  $(\delta vH) \times 100 = ((0,007024) / 11,6) \times 100 = 0,061\% < 1\%$
2. *Pushover* arah Y  
Maksimum total *drift ratio*,  $(\delta vH) \times 100 = ((0,006683) / 11,6) \times 100 = 0,058\% < 1\%$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh level kinerja struktur yaitu *Immediate Occupancy* (IO) di mana pada kondisi ini kerusakan yang diakibatkan gempa bumi tidak terlalu berarti dan struktur dikatakan hampir sama kekakuannya pada saat sebelum terjadinya gempa bumi. Maka struktur bangunan masih kuat dan aman untuk ditempati.

Dalam analisis kinerja struktur bangunan berdasarkan SNI 1726: 2019 yaitu menentukan simpangan antar tingkat dari struktur bangunan. Penentuan simpangan antar tingkat dihitung untuk membedakan simpangan pada pusat massa di struktur atas dan struktur bawah tingkat yang ditinjau. Tabel 2 merupakan simpangan antar tingkat arah X dan Tabel 3 merupakan simpangan antar tingkat arah Y. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) yang didapat tidak melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_{ijin}$ ) yang disyaratkan dalam standar peraturan yaitu SNI 1726: 2019. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan AMAN terhadap gaya gempa.

**Tabel 2.** Simpangan antar tingkat arah X

Story	H <sub>x</sub> (m)	U <sub>x</sub> (m)	$\delta_{ex}$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_{ijin}$ (m)	Ket.
3	3,8	0,0065	0,0011	0,0039	0,0292	AMAN
2	3,8	0,0055	0,0025	0,0090	0,0292	AMAN
1	4,0	0,0030	0,0030	0,0110	0,0308	AMAN

**Tabel 3.** Simpangan antar tingkat arah Y

Story	H <sub>y</sub> (m)	U <sub>y</sub> (m)	$\delta_{ey}$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_{ijin}$ (m)	Ket.
3	3,8	0,0064	0,0014	0,0050	0,0292	AMAN
2	3,8	0,0050	0,0023	0,0085	0,0292	AMAN
1	4,0	0,0027	0,0027	0,0099	0,0308	AMAN

Berdasarkan 3 metode yaitu ATC-40, FEMA 356, dan SNI 1726: 2019 dapat perbandingan hasil analisis kinerja struktur dipaparkan pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, metode FEMA 356 menghasilkan nilai *drift ratio* paling besar dan metode ATC-40 menghasilkan nilai *drift ratio* paling kecil. Dari nilai *drift ratio* menurut ATC-40 dan FEMA 356, level kinerja struktur yaitu *Immediate Occupancy* karena nilai *drift ratio* yang didapatkan  $< 1\%$ . Sedangkan kinerja struktur menurut SNI 1726: 2019 struktur AMAN terhadap gaya gempa, karena nilai *drift ratio* yang didapatkan tidak melebihi *drift ratio* yang diizinkan (simpangan izin).

**Tabel 4.** Perbandingan hasil analisis

Metode	Arah	Elevasi (H)	Displacement (D)	Drift Ratio
		m	m	%
ATC-40	X	11,6	0,005807	0,050%
	Y	11,6	0,005325	0,046%
FEMA 356	X	11,6	0,007024	0,061%
	Y	11,6	0,006683	0,058%
SNI 1726: 2019	X	11,6	0,006542	0,056%
	Y	11,6	0,006377	0,055%

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan evaluasi kinerja yang dilakukan terhadap bangunan Gedung SMP Negeri 2 Kota Banda Aceh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis *pushover* yang dilakukan menggunakan metode ATC-40 dan FEMA 356, nilai *drift ratio* yang didapatkan  $< 1\%$  maka gedung tersebut termasuk level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), di mana kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi tidak terlalu berarti sehingga gedung tersebut masih kuat dan aman untuk ditempati.
2. Berdasarkan metode SNI 1726: 2019, nilai *drift ratio* yang didapatkan tidak melebihi nilai *drift ratio* yang diizinkan (simpangan izin). Hal ini menunjukkan bahwa struktur AMAN terhadap gaya gempa.

3. Pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada elemen balok struktur, kemudian baru diikuti oleh elemen kolom struktur yang terbentuk pada step berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa konsep desain *strong column weak beam* terpenuhi pada gedung tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abd-el-rahim, H.H.A., Farghaly, A.A., 2010. Influence of Structural Irregularity in Plan Floor Shape on Seismic Response of Buildings. JES. Journal of Engineering Sciences 38, 911–928. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2010.125548>
- Agus, A., Mardiahsha, R., 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Metoda Pushover (Studi Kasus : Bangunan Arlington Tower Bekasi). Ensiklopedia of Journal 4, 57–63. <https://doi.org/10.33559/eoj.v4i2.1004>
- Agus, Ridwan, M., Ramadhana, F., 2018. Seismic Performance of Existing R/C Building with Irregular Floor Plan Shape. MATEC Web Conf. 215, 01035. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821501035>
- ATC-40, 1996. ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, California.
- Dewobroto, W., 2005. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY.
- Maidiawati, Sanada, Y., 2008. Investigation and Analysis of Buildings Damaged during the September 2007 Sumatra, Indonesia Earthquakes. Journal of Asian Architecture and Building Engineering 7, 371–378. <https://doi.org/10.3130/jaabe.7.371>
- SAP 2000, n.d. SAP 2000, V 14. Structural Analysis and Design.
- SNI 1726:2019, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Kerangka Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- SNI 2847-2019, 2019. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan.
- SNI-1727-2020, 2020. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.