

KINERJA STRUKTUR YANG DIRENCANAKAN BERDASARKAN PERATURAN GEMPA TAHUN 2002 TERHADAP SNI 1726:2012: STUDI KASUS STRUKTUR HOTEL X DI KUPANG

Christian Handoko¹, Ryan Setiawan², Pamuda Pudjisuryadi³, Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Bangunan di Indonesia didesain berdasarkan peraturan gempa yang terus diperbarui secara berkala. Peraturan gempa terakhir kali mengalami pembaruan dari SNI-1726-2002 menjadi SNI 1726:2012. Level gempa maksimum yang disyaratkan dan peta gempa berubah secara signifikan. Gempa periode ulang 500 tahun adalah level gempa maksimum pada SNI-1726-2002, sedangkan pada SNI 1726:2012, level gempa maksimum adalah gempa periode ulang 2500 tahun. Akibatnya, bangunan yang didesain berdasarkan peraturan lama dapat mengalami kegagalan struktur jika dievaluasi terhadap peraturan baru. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi performa seismik bangunan Hotel X yang didesain berdasarkan SNI-1726-2002.

Struktur dianalisis menggunakan *Nonlinear Time History Direct Integration Analysis* dengan beban percepatan gempa yang disetarakan terhadap respons spektrum gempa desain dan gempa maksimum di Kupang. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur Hotel X mampu memikul beban gempa maksimum berdasarkan SNI 1726:2012. *Drift ratio* maksimum akibat gempa periode ulang 2500 tahun adalah 0,81%, sedangkan *drift ratio* maksimum yang diijinkan pada FEMA 356-2000 adalah 2%. Pada kasus gempa desain (2/3 dari 2500 tahun), *drift ratio* maksimum yang terjadi adalah 0,55% sedangkan batas yang diijinkan pada FEMA 356-2000 adalah 1%. Level kerusakan sendi plastis juga belum melebihi batas yang ditentukan pada ACMC.

KATA KUNCI: analisis nonlinier riwayat waktu, evaluasi struktur, peraturan gempa Indonesia, dan performa seismik.

1. PENDAHULUAN

Gempa adalah salah satu faktor yang perlu diperhitungkan dalam mendesain struktur suatu bangunan. Di Indonesia, bangunan didesain terhadap gempa berdasarkan peraturan gempa yang berlaku dan terus diperbarui seiring berjalannya waktu. Pembaruan peraturan tersebut (SNI-1726-2002 menjadi SNI 1726:2012) menyebabkan meningkatnya beban gempa desain yang digunakan untuk merencanakan suatu bangunan. Peta gempa mengalami perubahan secara signifikan akibat pembaruan tersebut. Level gempa maksimum yang disyaratkan juga berubah dari gempa periode ulang 500 tahun (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman, 2002) menjadi gempa periode ulang 2500 tahun (Badan Standardisasi Nasional, 2012). Selain itu, faktor reduksi yang digunakan untuk beberapa jenis struktur juga mengalami penurunan sehingga gaya gempa nominal yang disyaratkan semakin besar.

Selain peraturan gempa, peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung juga mengalami pembaruan. Sebagai contoh, persyaratan jarak sengkang balok maksimum pada peraturan baru (SNI 2847:2013) lebih ketat dari peraturan lama (RSNI-03-2847-2002). Oleh karena itu, bangunan lama perlu dievaluasi berdasarkan peraturan baru.

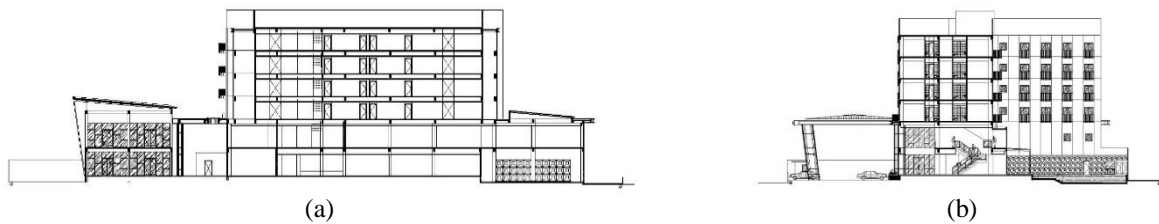
¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414045@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414115@john.petra.ac.id

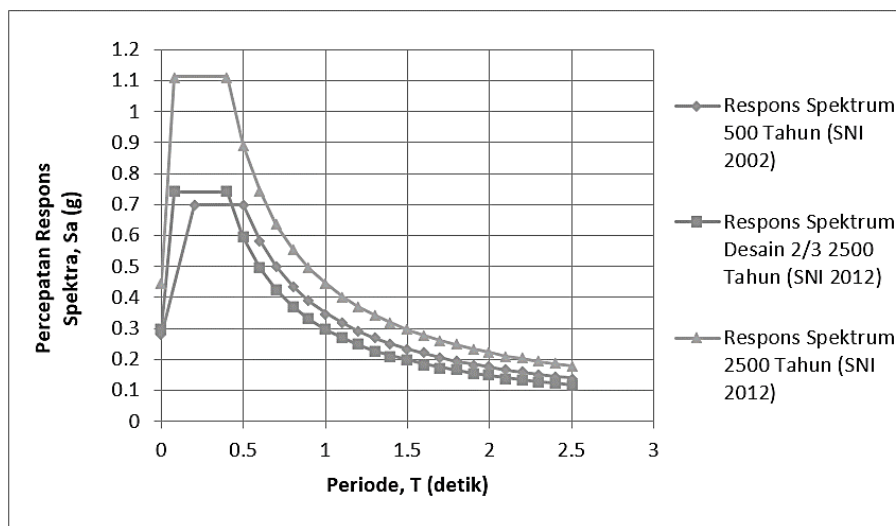
³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, pamuda@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, bluman@petra.ac.id

Objek dari penelitian ini adalah struktur Hotel X 6 lantai (**Gambar 1**) yang berada di Kupang dimana klasifikasi tanah pada lokasi tersebut adalah tanah keras. Perubahan respons spektrum gempa desain (gempa 2/3 dari 2500 tahun) dan gempa 2500 tahun di Kupang untuk tanah keras dapat dilihat pada **Gambar 2**. Struktur dimodelkan pada SAP2000 dan dianalisis dengan *Nonlinear Time History Direct Integration Analysis*.



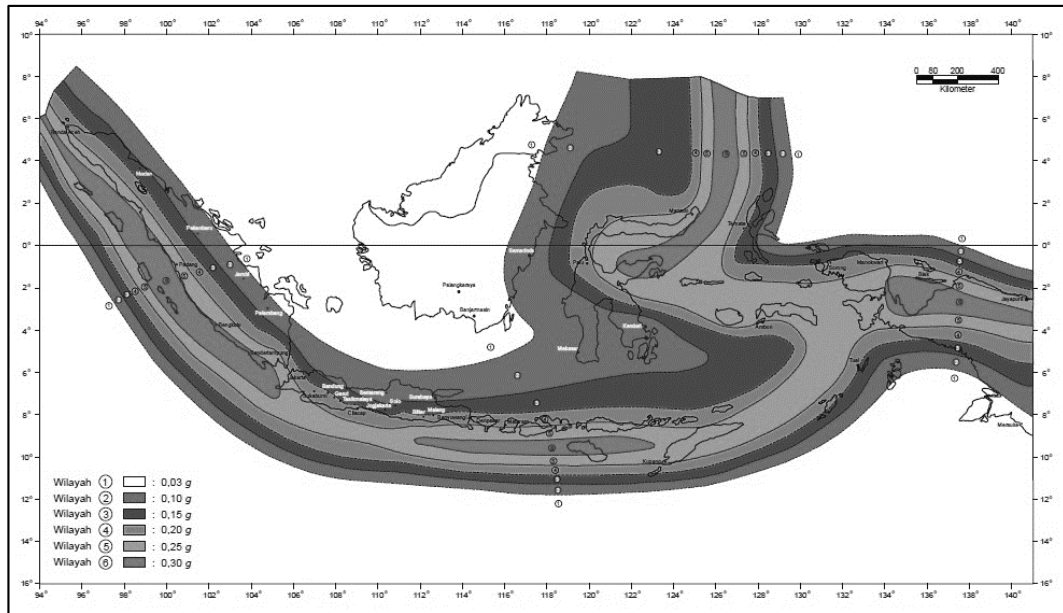
Gambar 1. Potongan Bangunan Hotel X: a) Potongan Memanjang; b) Potongan Melintang



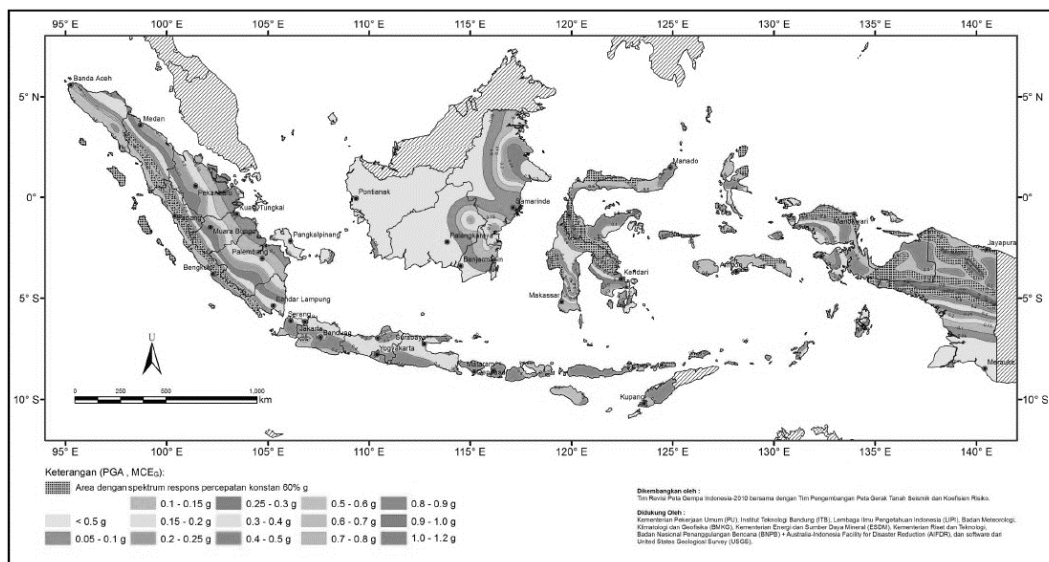
Gambar 2. Perbandingan Respons Spektrum SNI 2002 dan 2012 di Kupang untuk Tanah Keras

2. TINJAUAN PUSTAKA SNI-1726-2002 DAN SNI 1726:2012

Peraturan mengenai perencanaan bangunan terhadap gempa terakhir kali mengalami pembaruan dari SNI-1726-2002 menjadi SNI 1726:2012. Salah satu perbedaan yang paling signifikan terlihat pada peta gempa yang digunakan pada kedua peraturan tersebut. Selain pembagian wilayah gempa, terdapat juga perbedaan pada periode ulang yang ditargetkan. Pada SNI-1726-2002, gempa maksimum yang ditargetkan adalah gempa periode ulang 500 tahun, sedangkan pada SNI 1726:2012 gempa maksimum yang ditargetkan adalah gempa periode ulang 2500 tahun. Peta gempa untuk percepatan puncak batuan dasar (PBA) dengan periode ulang 500 tahun pada SNI-1726-2002 ditampilkan pada **Gambar 3**. Sedangkan peta gempa untuk percepatan muka tanah puncak (PGA) dengan periode ulang 2500 tahun pada SNI 1726:2012 ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 3. Peta Gempa PBA dengan Periode Ulang 500 Tahun pada SNI-1726-2002



Gambar 4. Peta Gempa PGA dengan Periode Ulang 2500 Tahun pada SNI 1726:2012

Perbedaan pada SNI-1726-2002 dan SNI 1726:2012 juga dapat terlihat pada faktor reduksi yang digunakan. Untuk struktur dengan sistem penahan gempa berupa sistem ganda SRPMK dan dinding geser beton bertulang, faktor reduksi yang digunakan pada SNI-1726-2002 pasal 4.3.4 adalah 8,5. Sedangkan pada SNI 1726:2012 pasal 7.2.1, faktor reduksi yang digunakan adalah 7. Penurunan faktor reduksi tersebut tentu menyebabkan peningkatan beban gempa nominal yang direncanakan.

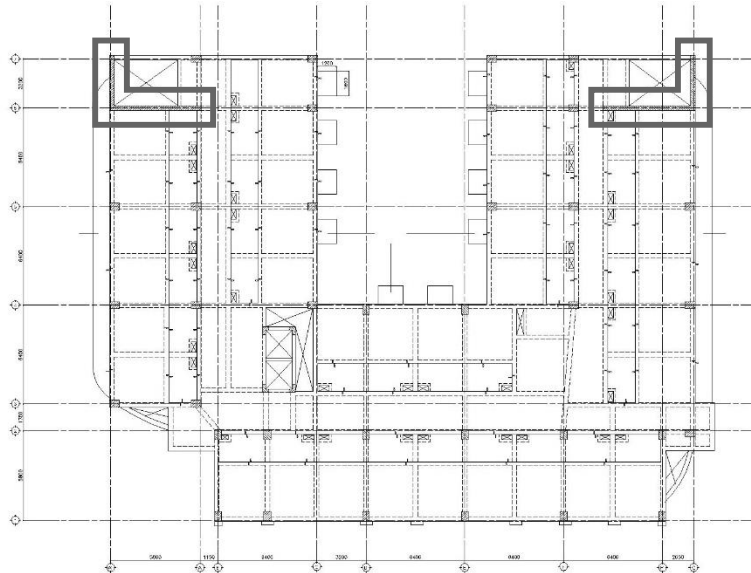
3. TINJAUAN PUSTAKA RSNI-03-2847-2002 DAN SNI 2847:2013

Peraturan beton struktural untuk bangunan gedung juga diperbarui dari RSNI-03-2847-2002 menjadi SNI 2847:2013. Salah satu perbedaan pada kedua peraturan tersebut adalah persyaratan jarak sengkang untuk elemen lentur (balok) rangka momen khusus. Pada RSNI-03-2847-2002 pasal 23.3.3.2, jarak sengkang maksimum tidak boleh melebihi $d/4$, delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup, dan 300 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

Sedangkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2, jarak sengkang maksimum tidak boleh melebihi $d/4$, enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, dan 150 mm (Badan Standardisasi Nasional, 2013).

4. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan memodelkan struktur Hotel X pada program SAP2000. Karena keterbatasan pada program SAP2000, dinding geser yang berbentuk L (**Gambar 5**) dimodelkan sebagai dua elemen berpenampang persegi panjang yang dihubungkan dengan *diaphragm joint constraint*.



Gambar 5. Dinding Geser pada Struktur Hotel X Lantai 3

Kemudian untuk melakukan analisis secara nonlinier, diperlukan properti nonlinier pada SAP2000 berupa *hinge property*. Program CUMBIA digunakan untuk memperoleh grafik *moment-curvature* dan *force-displacement* yang kemudian akan digunakan untuk memodelkan *hinge property* pada SAP2000 (Montejo & Kowalsky, 2007). Setelah itu, struktur dianalisis menggunakan *Nonlinear Time History Direct Integration Analysis* pada SAP2000 dengan beban percepatan gempa yang telah disetarakan terhadap respons spektrum Kupang periode ulang 2500 tahun dan gempa desain (2/3 dari 2500 tahun). Dari hasil analisis tersebut, dapat diidentifikasi performa struktur terhadap gempa berdasarkan peraturan baru.

5. STANDAR PERFORMA STRUKTUR TERHADAP GEMPA

Performa struktur terhadap gempa ditentukan berdasarkan *drift ratio* dan tingkat kerusakan (*damage index*) sendi plastis yang terjadi pada struktur. Matriks performa struktur dan batasan *drift ratio* untuk berbagai level performa struktur berdasarkan FEMA 356-2000 ditampilkan pada **Tabel 1** (Federal Emergency Management Agency, 2000). Sedangkan batasan *damage index* untuk setiap level performa struktur berdasarkan ACMC ditunjukkan pada **Tabel 2** (ACMC, 2001).

Tabel 1. Earthquake Performance Matrix Berdasarkan FEMA 356-2000

		Target Building Performance Levels			
		Operational Performance Level (1-A)	Immediate Occupancy Performance Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level (5-E)
Earthquake Hazard Level	50%/50 year	a	b	c	d
	20%/50 year	e	f	g	h
	BSE-1 (~10%/50 year)	i	j	k	l
	BSE-2 (~2%/50 year)	m	n	o	p
<i>Drift Ratio</i>		-	< 0,5%	0,5% – 1%	1% – 2%

Tabel 2. Batasan Damage Index Berdasarkan APMC

Parameter	Operational Performance Level	Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety
Damage Index	< 0,1	0,1 – 0,25	0,25 – 0,4	0,4 – 1

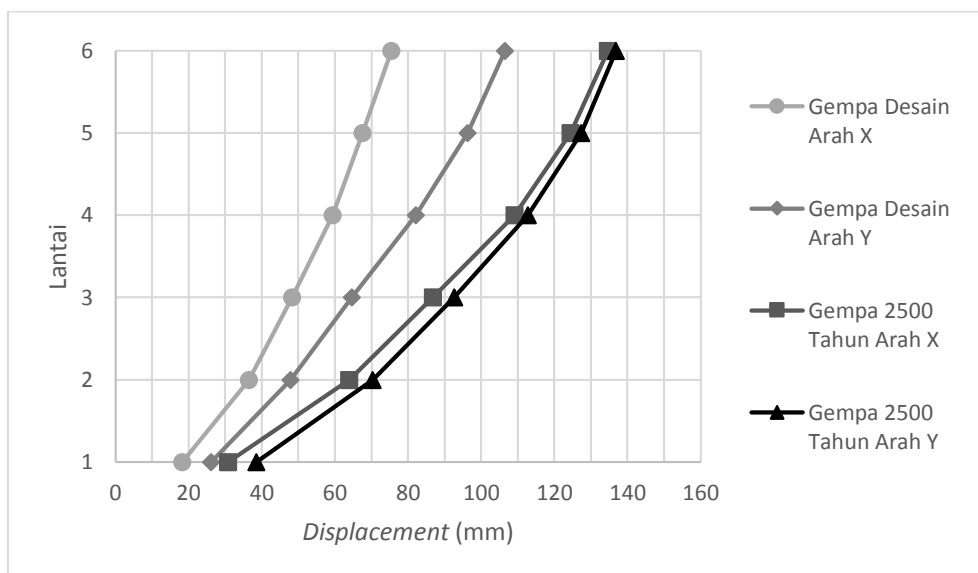
Berdasarkan FEMA 356-2000, batas level performa struktur untuk *Basic Safety Objective* adalah k dan p. Dengan kata lain, batas performa struktur akibat gempa desain adalah *Life Safety Performance Level*, dan batas performa struktur akibat gempa 2500 tahun adalah *Collapse Prevention Performance Level*. Sedangkan pada APMC, batas performa struktur akibat gempa desain adalah *Damage Control Limit State*, dan akibat gempa 2500 tahun adalah pada batas *Safety*.

6. HASIL ANALISIS STRUKTUR HOTEL X

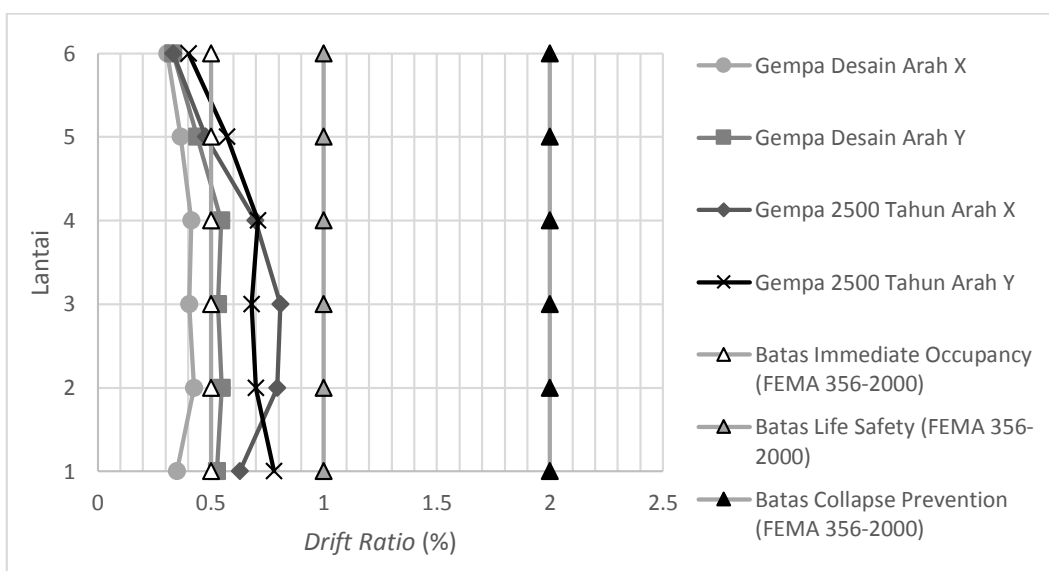
Setelah struktur Hotel X dianalisis terhadap gempa desain dan gempa 2500 tahun, diperoleh hasil analisis struktur berupa *displacement*, *drift ratio*, dan kerusakan struktural berupa sendi plastis yang terjadi pada struktur. Tingkat kerusakan sendi plastis terburuk yang terjadi pada struktur adalah *Serviceability Limit State* baik akibat gempa desain maupun akibat gempa 2500 tahun. **Tabel 3** menampilkan *displacement* dan *drift ratio* yang terjadi pada struktur. **Gambar 6** menampilkan grafik *displacement* yang terjadi pada struktur, sedangkan **Gambar 7** menunjukkan grafik *drift ratio* yang terjadi pada struktur beserta batas *drift ratio* berdasarkan FEMA 356-2000.

Tabel 3. Displacement dan Drift Ratio Struktur Hotel X

Lantai	Displacement struktur Hotel X (mm)				Drift ratio struktur Hotel X (%)			
	Gempa Desain		Gempa 2500 Tahun		Gempa Desain		Gempa 2500 Tahun	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
atap	75,53	106,59	134,76	136,84	0,3076	0,3338	0,3336	0,401
5	67,61	96,28	124,47	127,41	0,3657	0,4386	0,4778	0,5706
4	59,46	82,19	109,19	112,77	0,4148	0,5448	0,6977	0,7089
3	48,26	64,72	86,86	92,66	0,405	0,5305	0,8079	0,6813
2	36,52	47,82	63,91	70,41	0,4258	0,5483	0,7935	0,6992
1	18,22	26,09	30,79	38,58	0,351	0,5265	0,6284	0,7786



Gambar 6. Displacement Struktur Hotel X



Gambar 7. Drift Ratio Struktur Hotel X

Pada **Gambar 7**, terlihat bahwa performa struktur akibat gempa desain arah x adalah *immediate occupancy performance level*. Sedangkan akibat gempa desain arah y maupun gempa 2500 tahun arah x dan y, performa struktur berada pada level *life safety performance level*.

7. PERFORMA STRUKTUR HOTEL X

Setelah hasil analisis struktur Hotel X diperoleh, dapat diketahui bahwa struktur Hotel X masih memenuhi persyaratan *drift ratio* yang ditentukan oleh FEMA. Sendi plastis yang terjadi pada struktur juga belum melebihi batas yang ditentukan oleh ACMC. Performa struktur Hotel X berdasarkan FEMA 356-2000 ditampilkan pada **Tabel 4**. Sedangkan performa struktur Hotel X berdasarkan ACMC ditampilkan pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Performa Struktur Hotel X Berdasarkan FEMA 356-2000

Parameter yang Digunakan	Gempa yang Digunakan untuk Analisis	Operational Performance Level (1-A)	Immediate Occupancy Performance Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level (5-E)
<i>Drift Ratio</i>	Gempa Desain			0,5483%	
	Gempa 2500 Tahun			0,8079%	

Tabel 5. Performa Struktur Hotel X Berdasarkan ACMC

Parameter yang Digunakan	Gempa yang Digunakan untuk Analisis	Operational Performance Level	Serviceability Limit State	Damage Control Limit State	Safety
Level Kerusakan Sendi Plastis	Gempa Desain		✓		
	Gempa 2500 Tahun		✓		

8. KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa performa struktur Hotel X terhadap gempa berdasarkan peraturan baru tergolong cukup baik. *Drift ratio* maksimum yang terjadi pada struktur baik akibat gempa desain (0,55%) maupun gempa 2500 tahun (0,81%) belum melebihi batas yang ditentukan pada FEMA 356-2000 (1% dan 2%). Level kerusakan sendi plastis yang terjadi pada struktur (*serviceability limit state* akibat gempa desain maupun gempa 2500 tahun) juga belum melebihi batas yang ditentukan pada ACMC (level *damage control limit state* untuk gempa desain dan level *safety* untuk gempa 2500 tahun).

8.2. Saran

Untuk penelitian berikutnya, disarankan agar dapat memodelkan dinding geser sebagai satu elemen struktur sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.

9. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1 & 2 Documents*. Tokyo: Author.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, RSNi-03-2847-2002*. Bandung: Author.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012*. Jakarta: Author.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2013*. Jakarta: Author.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Author.
- Montejo, L.A. & Kowalsky, M.J. (2007). *CUMBIA - Set of Codes for the Analysis of Reinforced Concrete Members*. Raleigh, NC: North Carolina State University.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI-1726-2002*. Bandung: Author.