

## **KINERJA STRUKTUR *EXISTING* YANG DIRENCANAKAN BERDASARKAN PERATURAN GEMPA TAHUN 1983. STUDI KASUS STRUKTUR HOTEL DI BALIKPAPAN**

Ferry<sup>1</sup>, Elian Davin Mulyadi<sup>2</sup>, Pamuda Pudjisuryadi<sup>3</sup> and Benjamin Lumantarna<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Indonesia telah beberapa kali mengalami pembaruan peraturan gempa, mulai dari PMI 1970 sampai menjadi SNI 1726-2012. Pembaruan ini mensyaratkan beban gempa dengan periode ulang yang lebih besar. Hal ini berdampak kepada bangunan *existing* yang direncanakan menggunakan peraturan lama. Dikhawatirkan bangunan tersebut tidak memenuhi persyaratan yang disyaratkan oleh peraturan baru, sehingga diperlukan kajian ulang mengenai kinerja dari bangunan. Penelitian ini akan menggunakan studi kasus dari bangunan hotel 9 lantai di kota Balikpapan, yang direncanakan berdasarkan PPTI-UG 1983 dengan peraturan beton SKSNI T-15-1991-03, dan akan dievaluasi terhadap SNI 1726-2012. Analisa menggunakan *non-linear direct integration time history* dengan program SAP2000 v.18.2. Evaluasi kinerja bangunan didasarkan pada *performance level* berdasarkan FEMA 356 serta *individual damage index* berdasarkan ACMC. Bangunan menunjukkan kinerja yang baik pada level gempa desain maupun gempa 2500 tahun. Drift ratio dari bangunan tidak melebihi 0.5% untuk setiap level gempa yang diujikan. Nilai maksimum *individual damage index* pada elemen balok juga hanya sebesar 0.0426 dimana nilai tersebut masih dibawah batas *serviceability limit state* yang ditentukan ACMC.

**KATA KUNCI:** *non-linear direct integration, performance level, PPTI-UG 1983, SKSNI T-15-1991-03, time history*

### **1. PENDAHULUAN**

Dalam merencanakan bangunan terhadap gempa, beban gempa rencana didapatkan dari peta gempa yang dimuat di dalam peraturan sebagai standar dalam perencanaan bangunan terhadap gempa. Indonesia pertama kali mempunyai peta gempa pada tahun 1970, yang dimuat dalam Peraturan Muatan Indonesia, PMI 1970, dimana peta tersebut membagi Indonesia ke dalam tiga wilayah gempa saja (Lumantarna, 2008). Peta gempa tersebut telah mengalami beberapa kali pembaruan, diantaranya menjadi PPTI-UG 1983, SNI 1726-2002, dan terakhir SNI 1726-2012. Pembaruan tersebut dilakukan mengingat munculnya kejadian-kejadian gempa yang lebih besar dari perkiraan sebelumnya serta dikembangkannya metode-metode analisis baru yang dapat menghasilkan pemetaan gempa yang lebih baik (Irsyam et al, 2010).

Perubahan peta gempa ini mengakibatkan peningkatan PGA (*Peak Ground Acceleration*) yang berakibat pula pada peningkatan beban gempa rencana. Beberapa daerah mengalami peningkatan yang cukup signifikan, dan beberapa daerah lainnya tidak terlalu signifikan. Akibat dari pembaruan peraturan ini berdampak kepada bangunan *existing* yang didesain dengan peraturan lama, sehingga diperlukan kajian

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414068@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21414032@john.petra.ac.id

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

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

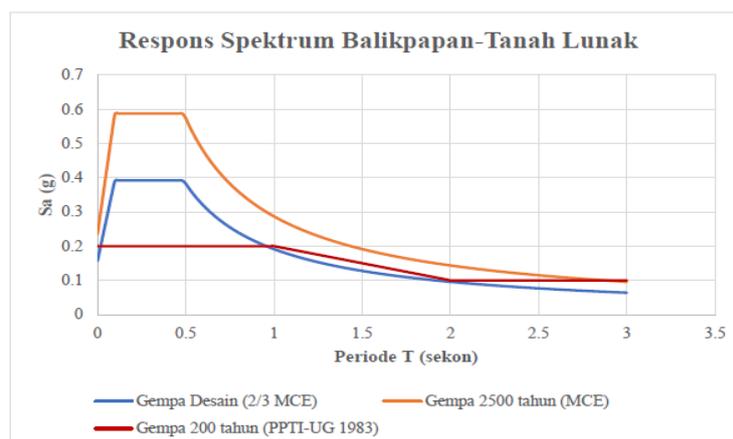
ulang terhadap bangunan-bangunan yang telah ada, untuk mengetahui apakah bangunan-bangunan tersebut masih memenuhi syarat atau tidak.

Pada penelitian ini akan dilakukan studi kasus dengan mengambil sebuah bangunan hotel 9 lantai di kota Balikpapan, yang didesain dengan peraturan gempa PPTI-UG 1983 dan peraturan beton berdasarkan SKSNI T-15-1991-03. Adapun bangunan ini akan dievaluasi ulang kinerjanya terhadap peraturan gempa baru yaitu SNI 1726-2012. Kajian terhadap bangunan akan menggunakan bantuan program SAP 2000 v18.2 dan akan dievaluasi berdasarkan *performance level* menurut FEMA 356 (FEMA, 2000) serta berdasarkan *individual damage index* menurut ACMC (ACMC, 2001).

## 2. PERBANDINGAN PPTI-UG 1983 DENGAN SNI 1726-2012

Peta gempa pada PPTI-UG 1983 didasarkan pada gempa dengan periode ulang 200 tahun. Sedangkan pada SNI 1726-2012, peta gempa didasarkan pada gempa dengan periode ulang 2500 tahun, yang biasa disebut sebagai *Maximum Considered Earthquake* (MCE). Namun dalam desain, besarnya beban gempa rencana diambil sebesar  $2/3$  dari 2500 tahun. Besarnya angka  $2/3$  ini diambil sebagai *margin*, dimana pada saat struktur mengalami gempa desain ( $2/3$  Gempa 2500 tahun), tidak akan terjadi kerusakan yang besar dan dapat dipergunakan kembali dengan sejumlah perbaikan yang diperlukan. Sedangkan, pada saat struktur mengalami gempa sebesar 1.5 kali gempa desain, diijinkan untuk terjadi kerusakan yang besar, namun struktur tidak boleh runtuh (FEMA, 2000).

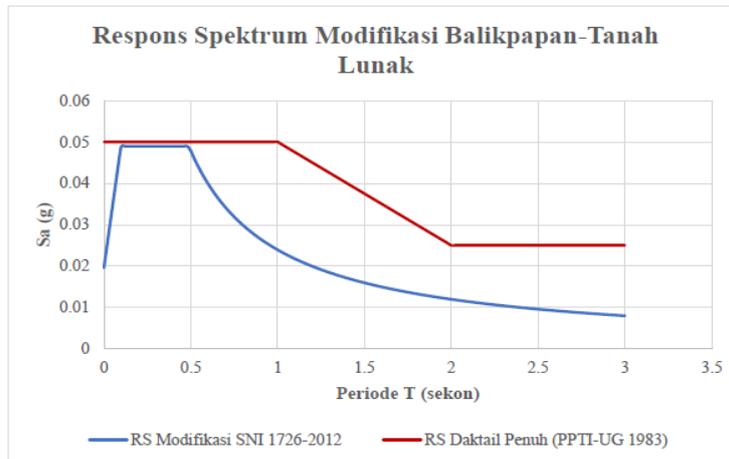
Perbandingan respons spektrum untuk kota Balikpapan, dengan kelas situs tanah lunak berdasarkan PPTI-UG 1983 (Tim Penyusun, 1983) dan SNI 1726-2012 (BSN, 2012) dapat dilihat pada **Gambar 1**. Dapat dilihat bahwa respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 untuk struktur dalam kondisi elastis, lebih besar dari respons spektrum berdasarkan PPTI-UG 1983. Namun demikian, dalam mendesain biasa digunakan cara linear yang dalam hal ini respons spektrum untuk struktur elastis perlu dimodifikasi menjadi respons spektrum gempa nominal yang telah memperhitungkan daktilitas dan faktor kuat lebih dari struktur, sehingga respons spektrum harus dibagi dengan suatu angka yang besarnya tergantung dari jenis struktur yang digunakan. Adapun perbandingan respons spektrum gempa nominal kota Balikpapan struktur SRPMK/Portal daktil menuruti PPTI-UG 1983 dan SNI 1726-2012 dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 1. Respon Spektrum Struktur Elastis untuk Kota Balikpapan**

Terlihat bahwa respons spektrum gempa nominal berdasarkan SNI 1726-2012 menjadi lebih kecil dibanding PPTI-UG 1983. Hal ini dikarenakan faktor daktilitas dan kuat lebih SRPMK menurut SNI 1726-2012 adalah 7, sedangkan menurut PPTI-UG 1983 adalah 4. Perbedaan faktor daktilitas dan kuat lebih ini tentunya juga berkaitan dengan peraturan beton yang bersangkutan, yang dalam hal ini untuk PPTI-UG 1983 berkaitan dengan peraturan beton SKSNI T-15-1991-03 sedangkan SNI 1726-2012 berkaitan dengan peraturan beton SNI 2847-2013, sehingga dalam mengkaji struktur terhadap gempa,

peraturan gempa dan peraturan desain struktur menjadi dua hal yang tak terpisahkan. Dalam hal ini, SKSNI T-15-1991-03 mempersiapkan struktur beton untuk menahan beban gempa 200 tahun, sedangkan SNI 2847-2013 mempersiapkan struktur untuk menahan gempa yang lebih besar dari gempa desain ( $2/3 \times 2500$  tahun), yaitu gempa 2500 tahun.



Gambar 2. Respon Spektrum Tereduksi (SRPMK/Portal Daktail) untuk Kota Balikpapan

### 3. PERBANDINGAN SKSNI T-15-1991-03 DENGAN SNI 2847-2013

Terdapat beberapa perbedaan antara SKSNI T-15-1991-03 dan SNI 2847-2013, dalam hal ini yang berkaitan dengan perencanaan terhadap gempa untuk portal daktail penuh/SRPMK. Perbedaan cukup signifikan antara keduanya terdapat pada perhitungan *strong column weak beam*, dimana SKSNI T-15-1991-03 mensyaratkan momen nominal kolom yang lebih ketat dibanding SNI 2847-2013. Perhitungan *strong column weak beam* berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 (SKSNI T-15, 1991) dapat dilihat pada persamaan 1, dan untuk SNI 2847-2013 (BSN, 2013) pada persamaan 2. Dengan menyetarakan momen *ultimate* kolom pada SKSNI T-15-1991-03 menjadi momen nominal kolom seperti pada SNI 2847-2013, didapati bahwa persyaratan *strong column weak beam* SNI 2847-2013 30% lebih rendah dibanding SKSNI T-15-1991-03 (Lumantarna et al, 2007).

$$\Sigma M_{u,k} = 0.7 \times \omega_d \times \Sigma M_{kap,b} \quad (1)$$

dimana:

$M_{u,k}$  = Kuat lentur kolom *ultimate* yang disyaratkan

$\omega_d$  = Faktor pembesar dinamis, diambil = 1.3

$M_{kap,b}$  = Momen kapasitas balok

$$= \phi_0 \times M_{nak,b}$$

$\phi_0$  = *Overstrength factor*, sebesar 1.25 untuk  $f_y < 400$  MPa dan 1.4 untuk  $f_y > 400$  MPa

$M_{nak,b}$  = Kuat lentur nominal balok berdasarkan tulangan terpasang

$$\Sigma M_{nk} = 1.2 \Sigma M_{nb} \quad (2)$$

dimana:

$M_{nk}$  = Kuat lentur nominal kolom

$M_{nb}$  = Kuat lentur nominal balok berdasarkan tulangan terpasang, termasuk kontribusi tulangan plat pada konstruksi balok T

Namun demikian, dalam SNI 2847-2013 mensyaratkan pengekekangan kolom (senggang) yang jauh lebih ketat, yaitu dengan adanya persyaratan luas minimum senggang  $A_{sh}$  (persamaan 3 dan persamaan 4) dalam pasal 21.6.4.4 SNI 2847-2013, pada jarak tertentu dari muka joint dimana pelelehan sendi plastis

sepertinya terjadi (BSN, 2013). Dengan adanya persyaratan tersebut, maka daktilitas *ultimate* dari kolom menjadi bertambah, yang mana juga akan berpengaruh kepada daktilitas struktur secara keseluruhan. Selain itu juga terdapat perbedaan pada syarat sengkang untuk balok, dimana SNI 2847-2013 juga memberikan persyaratan yang sedikit lebih ketat daripada SKSNI T-15-1991-03. Persyaratan sengkang balok berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 dapat dilihat pada persamaan 5 dan berdasarkan SNI 2847-2013 pada persamaan 6.

$$A_{sh} = 0.3 \times \frac{S \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \times \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

$$A_{sh} = 0.09 \times \frac{S \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \quad (4)$$

dimana:

- S = Jarak sengkang
- $b_c$  = Lebar *core*/ lebar kolom yang terkekang
- $f_{yt}$  = Kuat leleh sengkang
- $A_g$  = Luas *gross* penampang kolom
- $A_{ch}$  = Luas *core*/ luas kolom yang terkekang

$$V_{u,b} = 0.7 \times \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{l_n} + 1.05 V_g \quad (5)$$

dimana:

- $M_{kap}$  = Momen kapasitas balok pada salah satu ujung balok
- $M'_{kap}$  = Momen kapasitas balok pada ujung balok yang lain
- $l_n$  = Bentang bersih balok
- $V_g$  = Gaya geser balok akibat beban gravitasi

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{(1.2 D + L) \times l_n}{2} \quad (6)$$

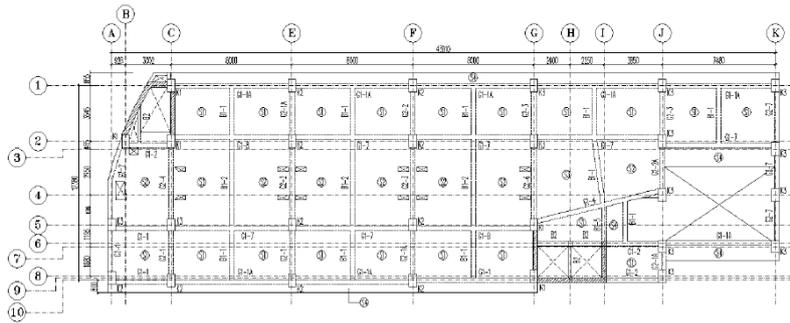
dimana:

- $M_{pr1}$  = Momen *probable* balok (momen kapasitas) pada salah satu ujung balok
- $M_{pr2}$  = Momen *probable* balok (momen kapasitas) pada ujung balok yang lain
- $l_n$  = Bentang bersih balok
- D = Beban mati yang bekerja pada balok
- L = Beban hidup yang bekerja pada balok

Terlihat bahwa SNI 2847-2013, memberikan ketentuan-ketentuan desain untuk membuat struktur menjadi lebih daktil. Hal ini dapat dilihat dengan adanya syarat pengekangan yang lebih ketat baik untuk kolom maupun untuk balok. Dalam hal ini, SNI 2847-2013 mempersiapkan struktur untuk menghadapi gempa 2500 tahun (*Maximum Considered Earthquake*). Sedangkan SKSNI T-15-1991-03 ditujukan untuk menahan gempa 200 tahun, dimana daktilitas struktur yang didesain dengan peraturan ini juga lebih terbatas.

#### 4. PEMODELAN STRUKTUR

Struktur hotel 9 lantai ini terdiri dari sistem ganda yaitu sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Denah dari bangunan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Program yang digunakan untuk menganalisa struktur adalah SAP 2000 v18.2. Analisa yang digunakan adalah *non-linear direct integration time history*, dengan menggunakan gempa *El Centro* 1940 yang telah disesuaikan dengan respon spektrum kota Balikpapan menurut SNI 1726-2012, baik untuk gempa 2500 tahun (MCE) maupun gempa desain ( $2/3 \times 2500$  tahun).



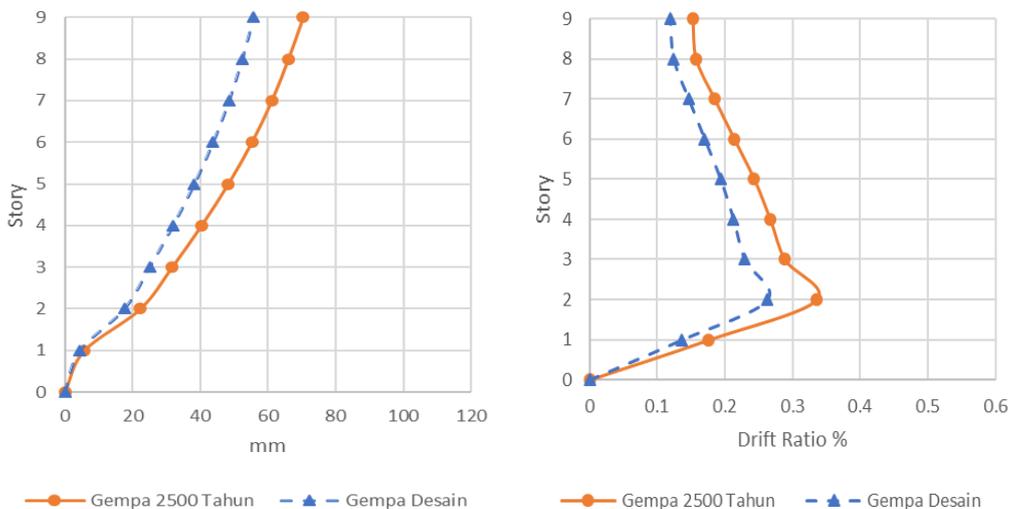
**Gambar 3. Denah Struktur Hotel**

Karena keterbatasan analisa *non-linear* pada SAP 2000, *shear wall* dimodelkan sebagai *frame element* dengan penampang sesuai dengan dimensi *shear wall*. Bentuk *shear wall* yang tidak sebidang pada bangunan ini, dimodelkan dengan beberapa *frame element* (kolom) yang mewakili masing-masing bidang dari bagian *shear wall* secara keseluruhan.

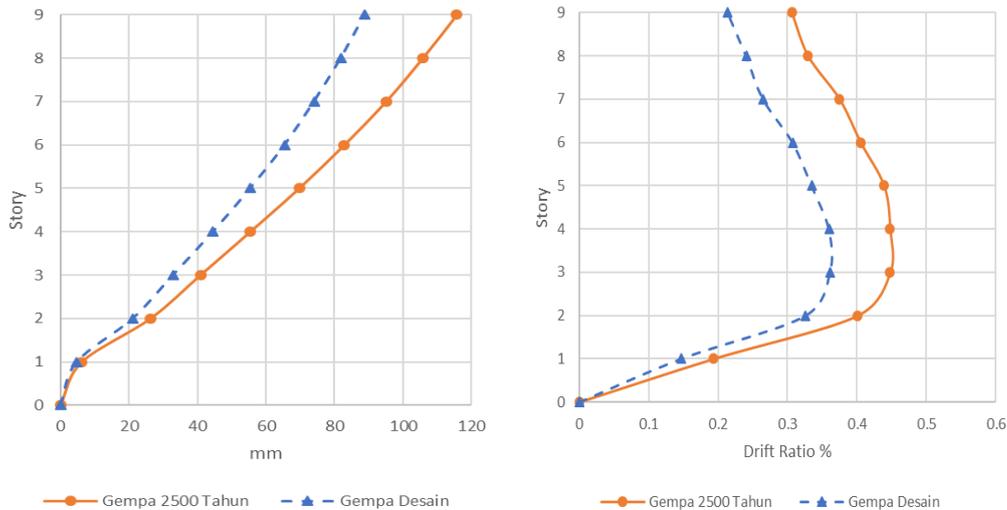
Untuk mendapatkan *non-linear behavior* dari struktur, perlu dipasang *non-linear hinge* yang sesuai. Pada elemen balok, digunakan M3 *hinge* serta V2 *hinge*. Sedangkan untuk kolom, digunakan P-M-M *hinge*, V2 serta V3 *hinge*, dan untuk elemen *shear wall* digunakan P-M-M *hinge*. Adapun *moment-curvature* serta *force-displacement* geser untuk balok dan kolom didapatkan dengan bantuan program CUMBIA (Montejo, 2007). Sedangkan untuk mendapatkan *moment-curvature shear wall* yang telah dipecah-pecah menggunakan program SEMC (Structure Express Moment-Curvature). Penempatan *hinge* untuk balok dilakukan pada ujung-ujung dekat kolom, sedangkan penempatan *hinge* untuk kolom dan *shear wall* dilakukan pada ujung-ujung di tiap lantai.

### 5. ANALISA DAN HASIL

Salah satu parameter untuk menilai kinerja struktur adalah menggunakan *drift ratio*, yang dalam penelitian ini menggunakan batasan *performance level* berdasarkan FEMA 356. Adapun *Drift ratio* dan *displacement* terbesar dari tiap lantai, pada pembebanan gempa desain ( $2/3 \times 2500$  tahun) maupun gempa 2500 tahun untuk arah X dan Y dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. *Drift ratio* terbesar dari masing-masing level gempa diambil sebagai nilai untuk menentukan *performance level* dari bangunan, yang hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.



**Gambar 4. Displacement dan Drift Ratio Arah X**



**Gambar 5. Displacement dan Drift Ratio Arah Y**

**Tabel 1. Performance Struktur Hotel**

Periode Ulang		Performance Level			
		Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention
500 tahun (Gempa Desain)	Arah X	-	0.263%	-	-
	Arah Y	-	0.362%	-	-
2500 tahun (MCE)	Arah X	-	0.335%	-	-
	Arah Y	-	0.448%	-	-
<b>Drift Ratio (%)</b>		0%	0% – 0.5%	0.5% – 1%	1% – 2%

Terlihat bahwa kinerja struktur telah menunjukkan hasil yang baik. Berdasarkan *performance level* dari FEMA 356, kinerja struktur berada pada level *immediate occupancy* dengan *drift ratio* di bawah 0.5%, baik untuk level gempa desain maupun gempa 2500 tahun.

Parameter lain yang dapat digunakan untuk melihat kinerja bangunan adalah menggunakan *individual damage index*, yaitu tingkat kerusakan yang terjadi pada masing-masing elemen struktur. Perhitungan *individual damage index* didapatkan dari persamaan 7 (Powell & Allahabadi, 1988).

$$DI = (\mu_m - 1) / (\mu_u - 1) \quad (7)$$

dimana:

DI = *Damage Index*

$\mu_m$  = Daktilitas maksimum terjadi

$\mu_u$  = Daktilitas *ultimate*

Kerusakan pada bangunan ini didominasi oleh kerusakan pada elemen balok, sedangkan kerusakan pada elemen kolom dan *shear wall* cukup sedikit. Oleh karenanya, pada penelitian ini hanya akan ditinjau *individual damage index* dari elemen balok. *Individual damage index* yang paling besar dari elemen balok diambil dan ditabelkan dalam **Tabel 2**, dengan batas-batas yang ditentukan berdasarkan Asian Concrete Model Code (ACMC, 2001). Dalam hal ini, nilai daktilitas yang dipakai adalah *rotation* dari masing-masing elemen balok yang ditinjau. Terlihat juga bahwa berdasarkan nilai *damage index*, kinerja bangunan telah menunjukkan hasil yang baik, yaitu pada *performance level operational* baik untuk gempa desain maupun gempa 2500 tahun.

**Tabel 2. Damage Index Balok**

Level Gempa	Arah	Damage Index			
500 tahun (Gempa Desain)	X	0.0219	-	-	-
	Y	0.0265	-	-	-
2500 tahun (MCE)	X	0.0426	-	-	-
	Y	0.0405	-	-	-
<i>Performance Level</i>		<i>Operational</i>	<i>Serviceability Limit State</i>	<i>Damage Control Limit State</i>	<i>Safety</i>
Batas		<0.1	0.1-0.25	0.25-0.4	0.4-1

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap struktur bangunan eksisting berupa hotel 9 lantai di Kota Balikpapan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bangunan hotel 9 lantai di Balikpapan yang direncanakan dengan peraturan gempa PPTI-UG 1983 dan peraturan beton SKNI T-15-1991-03 tersebut masih mampu menahan beban gempa yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012.
2. Bangunan hotel 9 lantai tersebut memiliki kinerja yang baik pada level gempa desain (2/3 MCE) dan gempa 2500 tahun (MCE) menurut FEMA 356 maupun ACMC. Berdasarkan *performance level* dari FEMA 356, bangunan berada pada *performance level Immediate Occupancy* untuk level gempa desain (2/3 MCE) maupun 2500 tahun (MCE), baik pada arah x maupun arah y, dengan batasan *drift ratio* dibawah 0.5%.

### 6.2. Saran

Permodelan *shear wall* pada bangunan ini masih kurang sempurna, dikarenakan keterbatasan *software/tools* untuk menganalisa *shear wall* dengan lebih baik. Diharapkan pada penelitian berikutnya, untuk dapat memodelkan *shear wall* dengan *software* lain ataupun menggunakan pendekatan lain yang memberikan hasil lebih baik.

## 7. DAFTAR REFERENSI

- ACMC. (2001). *Asian Concrete Model Code Level 1&2 Documents*, International Committee on Concrete Model Code, Tokyo, Japan.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Non Gedung*, SNI 1726-2012, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2013, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- FEMA 356. (2000). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, United States.
- Irsyam, M. et al. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, <[http://www.preventionweb.net/files/14654\\_AIFDR.pdf](http://www.preventionweb.net/files/14654_AIFDR.pdf)>
- Lumantarna, B. (2008). *Perkembangan Peraturan Pembebanan dan Perencanaan Bangunan Tahan Gempa*, <[http://fportfolio.petra.ac.id/user\\_files/73-001/makalah-makasar-sika.doc](http://fportfolio.petra.ac.id/user_files/73-001/makalah-makasar-sika.doc)>
- Lumantarna, B. et al. (2007). "Seismic Performance of Special Moment Resisting Frames Designed In Accordance to the Indonesian Concrete and Earthquake Codes". *MDCMS*. Proceedings of the First

- International Conference on Modern Design, Construction and Maintenance of Structures, Hanoi, Vietnam, 10-11 December 2007.
- Montejo, L.A. (2007). *CUMBIA*, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering North California State University, North California, United States.
- Powell, G.H. and Allahabadi, R. (1988). "Seismic Damage Prediction by Deterministic Methods: Concept and Procedure". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol. 16. 719-734.
- Tim Penyusun. (1983). *Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1983*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung, Indonesia.
- SKSNI T-15 (1991). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SKSNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, Bandung, Indonesia.