

Studi Perbandingan Gedung dengan Iregularitas Horizontal Menggunakan *Base Isolation* dan *Fixed Base*

Comparative Study of a Horizontally Irregular Building with Base Isolation and Fixed Base

Marcellino Arifin^{1,a)}, Lidya Fransisca^{2,b)} & Altho Sagara^{2,c)}

¹⁾Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

²⁾Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Koresponden : ^{a)}arifin.marcellino04@gmail.com, ^{b)}lidyafransiscatjong@gmail.com & ^{c)}altho_sagara@hotmail.com

ABSTRAK

Jumlah penduduk yang terus bertambah menyebabkan peningkatan kebutuhan penduduk, salah satunya yaitu rumah tinggal ataupun bangunan dengan fungsi lainnya. Adanya keterbatasan lahan mengakibatkan pembangunan gedung bertingkat semakin berkembang. Dalam mendesain, selain beban gravitasi, tentunya suatu gedung harus mampu menahan beban lateral akibat gempa bumi. Dewasa ini, dilakukan suatu pendekatan untuk mengurangi gaya lateral dengan menggunakan *base isolation*. Prinsipnya adalah memisahkan struktur bangunan dengan tanah sehingga ketika gempa terjadi, tanah akan tetap mengalami pergerakan tetapi struktur bangunan akan tetap mempertahankan posisinya. Pada penelitian ini, dilakukan analisis perbandingan gedung yang menggunakan *base isolation* (khususnya *lead rubber bearing*) dan *fixed base*. Berdasarkan analisis respons spektrum, penggunaan *base isolation* dapat mereduksi gaya geser dasar pada gedung, tetapi menyebabkan gedung menjadi lebih fleksibel pada arah horizontal sehingga gedung memiliki periode dan perpindahan lantai yang lebih besar. Kekakuan horizontal dan kekakuan vertikal yang dimiliki *base isolation* tidak mampu menahan momen pada dasar gedung sehingga terjadi distribusi momen ke tingkat di atasnya dan meningkatkan kebutuhan tulangan longitudinal balok induk. Berbeda halnya dengan kolom, penggunaan *base isolation* meningkatkan kekuatan kolom sehingga dimensi dapat diperkecil dan kebutuhan tulangan longitudinal berkurang. Berdasarkan analisis riwayat waktu, penggunaan *base isolation* meningkatkan kekuatan elemen struktur sehingga tidak terjadi sendi plastis pada kolom serta meningkatkan tingkat kinerja struktur.

Kata Kunci : manajemen aset infrastruktur & fasilitas, perancangan, *base isolation*, analisis respons spektrum, analisis riwayat waktu

PENDAHULUAN

Dewasa ini, Indonesia sering kali dilanda bencana alam yang salah satunya adalah gempa bumi. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Indonesia merupakan negara di mana tiga pelat tektonik bertemu (Eurasia, Australia, dan Pasifik) yang menyebabkan banyaknya aktivitas seismik yang terasa hingga permukaan tanah.

Di sisi lain, kebutuhan akan infrastruktur di Indonesia semakin tinggi. Hal ini didukung oleh faktor pertumbuhan penduduk. Berdasarkan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional jumlah penduduk dari tahun 2018 sampai dengan Januari 2019 meningkat sebanyak dua juta penduduk. Dapat dilihat dari data tersebut, seiring dengan pertumbuhan penduduk

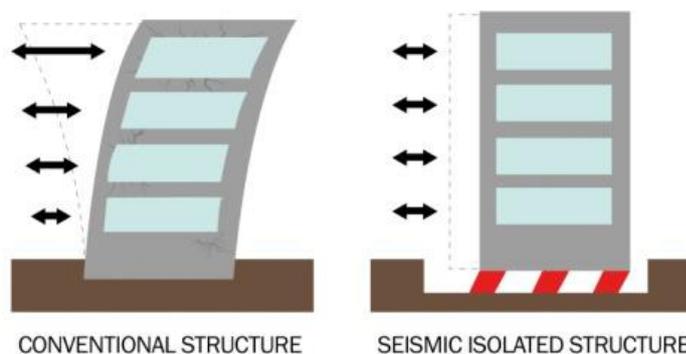
menyebabkan meningkatnya permintaan akan kebutuhan masyarakat namun tidak sebanding dengan ketersediaan lahan yang ada di Indonesia. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dibangunlah gedung bertingkat tinggi. Akan tetapi, banyaknya gedung bertingkat terkadang menimbulkan masalah yang baru yaitu kerusakan bangunan yang terjadi akibat bencana alam, salah satunya gempa bumi.

Berdasarkan prinsip Manajemen Aset Infrastruktur dan Fasilitas, bangunan gedung harus dirancang sedemikian rupa sehingga pengoperasian bisa berjalan dengan selamat, ekonomis, efektif dan efisien. Dalam bangunan gedung didalamnya terdapat komponen infrastruktur dan komponen fasilitasnya (Soemitro & Suprayitno 2018; Suprayitno & Soemitro 2018). Salah satu aspek keselamatan yang harus diperhatikan untuk Bangunan Gedung di Indonesia adalah keselamatan terhadap gempa bumi (UU 28/02).

Seiring dengan perkembangan teknologi dalam merencanakan bangunan tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan alternatif untuk mengurangi risiko kerusakan pada bangunan yaitu dengan cara mereduksi gaya gempa yang terjadi. Salah satu konsep perencanaan yang telah digunakan yaitu dengan menggunakan *base isolaton*. Beberapa tipe *base isolation* diantaranya; *roller and ball bearing*, *spring isolator*, *sliding bearing*, dan *elastomeric rubber bearing*. Pada peneitian ini akan dibahas lebih lanjut mengenai *elastomeric rubber bearing* khususnya *lead rubber bearing*. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis dan mendesain ulang komponen struktur pada gedung bertingkat yang menggunakan *base isolation* dengan iregularitas horizontal serta membandingkan kinerja struktur gedung yang menggunakan *base isolation* dan *fixed base*.

STUDI PUSTAKA

Dalam menghadapi bencana alam seperti gempa bumi, biasanya suatu gedung di desain secara konvensional yaitu dengan menambah kapasitas daya tahan pada suatu struktur seperti penggunaan dinding geser (*shear wall*) dan bresing (*bracing*). Akan tetapi, cara konvensional tersebut mampu memberikan dampak pada komponen non-struktural. Maka dari itu, diciptakan suatu pendekatan alternatif berupa sistem peredam yang digunakan untuk mengantisipasi kerusakan yang terjadi pada sebuah bangunan dan komponen di dalamnya yang mengalami getaran yang terasa sampai permukaan tanah akibat gempa bumi. Sistem tersebut adalah penggunaan *base isolation*. *Base isolation* memiliki prinsip memisahkan struktur bangunan dengan tanah sehingga ketika gempa terjadi, tanah akan tetap mengalami pergerakan tetapi struktur bangunan akan tetap mempertahankan posisinya.

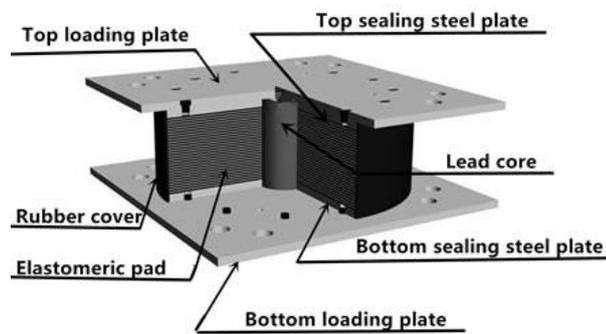


Gambar 1. Cara Kerja *Base Isolation* (sumber: <http://did.org.tr>)

Elastomeric bearing tersusun atas lapisan karet dan pelat baja secara bergantian. Lapisan karet memiliki ketebalan 8 - 20 mm dan dipisahkan oleh pelat baja dengan tebal 2 – 3 mm. Adanya pelat baja bertujuan untuk mengurangi deformasi vertikal pada sistem serta menopang beban vertikal. Akan tetapi pelat baja tidak mempengaruhi pergerakan secara

horizontal sehingga lapisan karet akan tetap fleksibel. Secara umum, *elastomeric bearing* yang menggunakan karet alami maupun sintetis hanya mampu menahan 2 – 3% dari redaman kritis sehingga mampu menyebabkan perpindahan yang besar. Oleh karena itu, untuk diaplikasikan pada suatu struktur yang lebih kompleks dan jembatan digunakan senyawa elastomer khusus yang dikenal dengan *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* atau kombinasi dengan perangkat lainnya yang dikenal dengan *Lead Rubber Bearing (LRB)*.

LRB merupakan bagian dari *elastomeric rubber bearing* yang di dalamnya terdapat penambahan perangkat berupa inti yang terbuat dari timah (*lead core*). Adanya inti tersebut membuat sistem isolasi ini menjadi lebih kaku dan mampu menahan beban vertikal maupun lateral dan memiliki disipasi energi yang tinggi terhadap beban lateral. Intinya adalah LRB menggabungkan fungsi kekakuan pada saat mengalami beban secara vertikal dan fleksibilitas pada saat mengalami beban lateral. Dengan kata lain, sistem isolasi ini mampu diaplikasikan secara tunggal dan efektif pada daerah dengan seismik yang tinggi.



Gambar 2. *Lead Rubber Bearing* (sumber: <https://www.bridgebearing.org>)

Beberapa contoh penerapan LRB adalah *Bihar's Police Station*, Patna, India; USC Hospital University, California, Amerika Serikat; dan *William Clayton Building*, Wellington, Selandia Baru.

Pemodelan LRB dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter sebagai berikut :

Moment of Inertia

$$I = \frac{\pi B^4}{64} \quad \dots(1)$$

Keterangan:

B = *rubber diameter*

Vertical Stiffness

$$K_v = \frac{E_c A_{LRB}}{t_r} \quad \dots(2)$$

Keterangan:

E_c = *compression modulus*

A_{LRB} = *area of bearing*

t_r = *total thickness of rubber*

Post Yield Stiffness

$$K_u = \frac{K_d}{n} \quad \dots(3)$$

Keterangan:

K_d = *pre yield in rubber*

n = *post yield stiffness to pre yield stiffness ratio of rubber*

Horizontal Stiffness

$$K_H = \frac{G A_{LRB}}{t_r} \quad \dots(4)$$

Keterangan:

G = *shear modulus*

t_r = *total thickness of rubber*

Yield Displacement

$$D_y = \frac{Q_{do}}{K_u - K_d} \quad \dots(5)$$

Keterangan:

Q_{do} = *force at design displacement*

K_u = *post yield in rubber*

K_d = *pre yield in rubber*

Yield Strength

$$F_y = Q_{do} + K_d D_y \quad \dots(6)$$

Keterangan:

Q_{do} = *force at design displacement*

D_y = *yield displacement*

K_d = *pre yield in rubber*

METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan yang merupakan sebuah pendekatan yang dilakukan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini:

1. Preliminary Design

Perancangan awal berupa data gedung beserta dimensi elemen struktur yaitu; kolom, balok dan pelat.

Data Gedung

- Material gedung : Beton Bertulang
- Fungsi gedung : Perkantoran
- Jumlah lantai : 10 lantai
- Tinggi antar-lantai : 3.2 m
- Lokasi : Mataram
- Kelas situs : SD (tanah sedang)
- Kategori desain seismik : D
- Sistem struktur : Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus
- Mutu beton : 30 MPa
- Tegangan leleh tulangan : 400 MPa

Dimensi Elemen Struktur

- Kolom (lantai 1-5): 600 x 600 mm², 800 x 800 mm² dan 800 x 1400 mm²
- Kolom (lantai 6-10): 600 x 600 mm² dan 700 x 1200 mm²
- Balok induk: 350 x 700 mm²
- Balok anak: 200 x 400 mm²
- Pelat: 120 mm

2. Pemodelan Gedung

Terdapat dua buah gedung yang mempunyai bentuk geometri yang sama, akan tetapi terdapat perbedaan pada bagian dasar struktur. Model pertama menggunakan *base*

isolation dan model kedua adalah *fixed base*. Kedua gedung diberikan beban gravitasi (sesuai SNI 1727:2013) dan beban gempa (SNI 1726:2012) yang sama.

3. Spesifikasi *Base Isolation*

Jenis yang digunakan adalah *lead rubber bearing* yang di desain berdasarkan UBC 2000.

Tabel 1. Spesifikasi *Base Isolation*

	LRB 1 (internal)	LRB 2 (eksternal)
<i>Axial Load Capacity</i> (kN)	7600	4000
<i>Momen Inertia</i> (m ⁴)	0.49	0.02
<i>Effective Damping</i>	0.05	0.05
U1 <i>Effective Stiffness</i> (kN/m)	2097978.809	1343232.518
U2 & U3 <i>Effective Stiffness</i> (kN/m)	3077.861	1970.603
U2 & U3 <i>Stiffness</i> (kN/m)	38189.255	23578.747
U2 & U3 <i>Distance from End-J</i> (m)	0.0025	0.0025
U2 & U3 <i>Yield Strength</i> (kN)	104.617	69.535

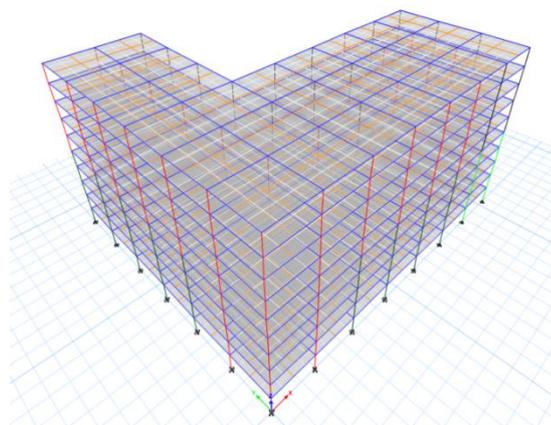
4. Analisis

Analisis yang digunakan yaitu analisis respons spektrum dan analisis riwayat waktu dengan menggunakan perangkat lunak. Pada analisis respons spektrum perilaku struktur yang ditinjau yaitu simpangan lantai dan gaya geser tiap lantai. Sedangkan pada analisis riwayat waktu, tingkat kinerja struktur merupakan hasil akhir yang akan ditinjau.

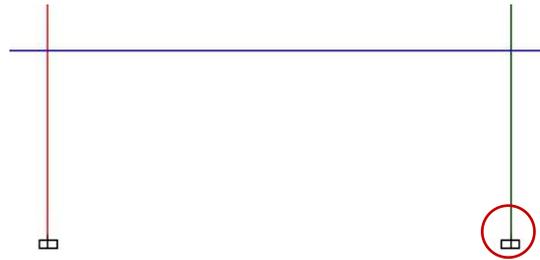
ANALISIS PENELITIAN

Pada bagian ini, gedung dengan *fixed base* selanjutnya akan disebut sebagai model 1, sedangkan untuk gedung yang menggunakan *base isolation* selanjutnya akan disebut sebagai model 2.

Berikut adalah Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 yang masing-masing menunjukkan model gedung tiga dimensi, jenis perletakan model 1 dan jenis perletakan model 2.



Gambar 3. Model Gedung Tiga Dimensi

**Gambar 4.** Jenis Perletakan Model 1**Gambar 5.** Jenis Perletakan Model 2

Pada model 2, terdapat balok pengikat di bagian dasar struktur. Hal tersebut diperlukan karena penggunaan *base isolation* memisahkan kolom dengan pondasi sehingga memungkinkan terjadinya pergerakan kolom yang tidak seragam. Sebelum dilakukan analisis pemeriksaan dilakukan terhadap gerak dominan gedung yang terlampir pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2.Gerak Dominan Gedung Model 1

Mode	UX	UY	UZ
1	6,01E-03	0.7446	2,94E-02
2	0.7407	9,45E-03	0.0012

Tabel 3.Gerak Dominan Gedung Model 2

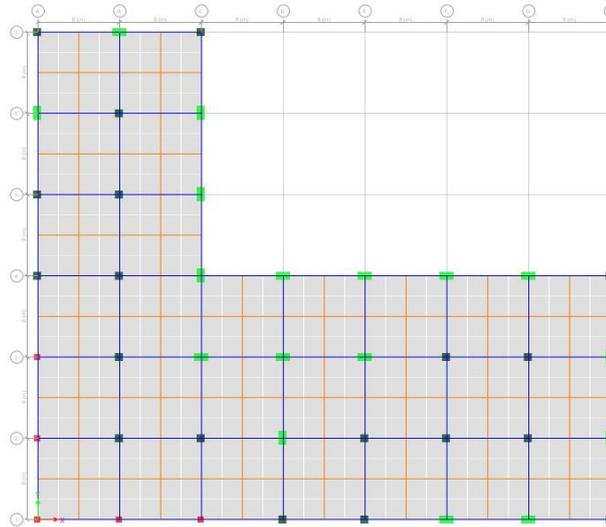
Mode	UX	UY	UZ
1	0.0001	0.942	0.0035
2	0.9471	0.0001	2,35E-03

Kedua model gedung memiliki gerak dominan yang sama. Untuk mode 1 dan 2 masing-masing terhadap arah y dan arah x. Hasil tersebut diperoleh melalui pendekatan berupa penempatan pusat massa dan pusat kekakuan berada di satu titik pada model gedung sehingga tidak terjadi puntir karena untuk dua mode pertama diharapkan terjadinya gerak translasi. Untuk model 1 periode getar arah x dan arah y masing-masing 1.814 detik dan 1.86 detik dengan ragam getar mencapai lebih dari 90% terdapat pada mode 21. Sedangkan untuk model 2, periode getar arah x dan arah y masing-masing 2.973 detik dan 2.999 detik dengan ragam getar mencapai lebih dari 90% terdapat pada mode 4.

Ketidakteraturan Horizontal

Model gedung yang berbentuk L dengan jarak antar kolom 8 m, memiliki daerah terbuka sehingga perlu dilakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan sudut dalam. Setelah dilakukan analisis, dapat disimpulkan bahwa terjadi ketidakberaturan sudut dalam karena

daerah terbuka pada arah x dan arah y memiliki panjang yang melebihi 15% panjang total pada setiap arahnya. Adanya ketidakberaturan horizontal tipe 2 dan memiliki kategori desain seismik D, maka diperlukan peningkatan gaya 25% pada sambungan antar diafragma dengan elemen vertikal dan dengan elemen kolektor.



Gambar 6. Denah Model Gedung

Tabel 4. Pemeriksaan Ketidakberaturan Sudut Dalam Arah X

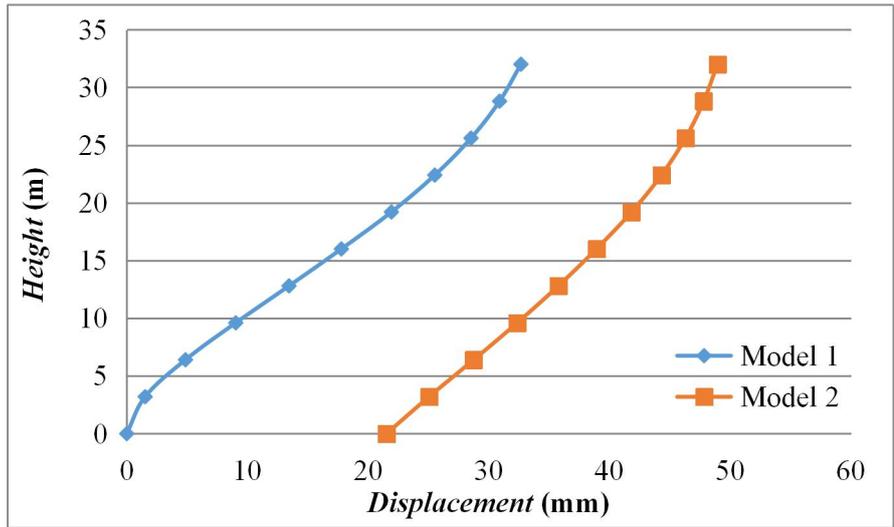
P_x	40 m
L_x	56 m
0.15 L_x	8.4 m
P_x > 0.15 L_x	

Tabel 5 . Pemeriksaan Ketidakberaturan Sudut Dalam Arah Y

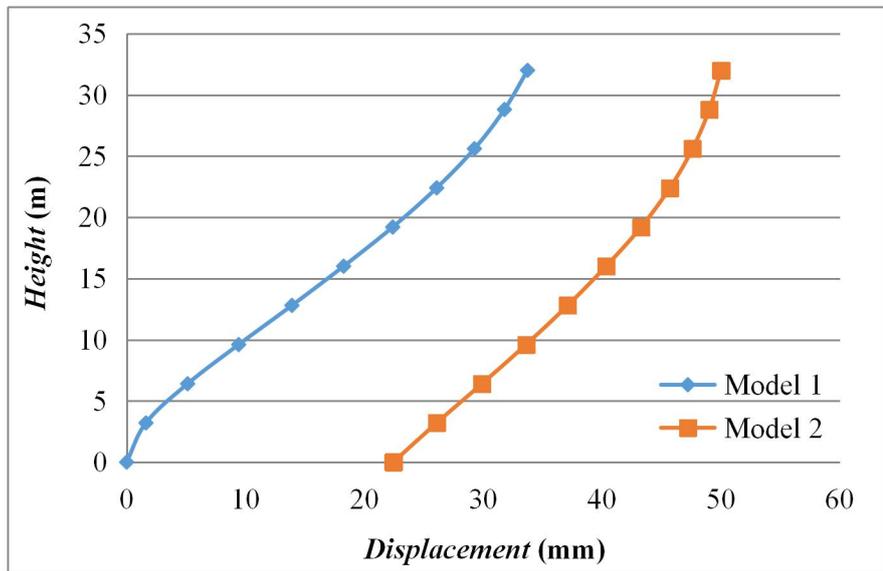
P_y	24 m
L_y	48 m
0.15 L_y	7.2 m
P_y > 0.15 L_y	

Simpangan Lantai – Gaya Geser Tiap Lantai

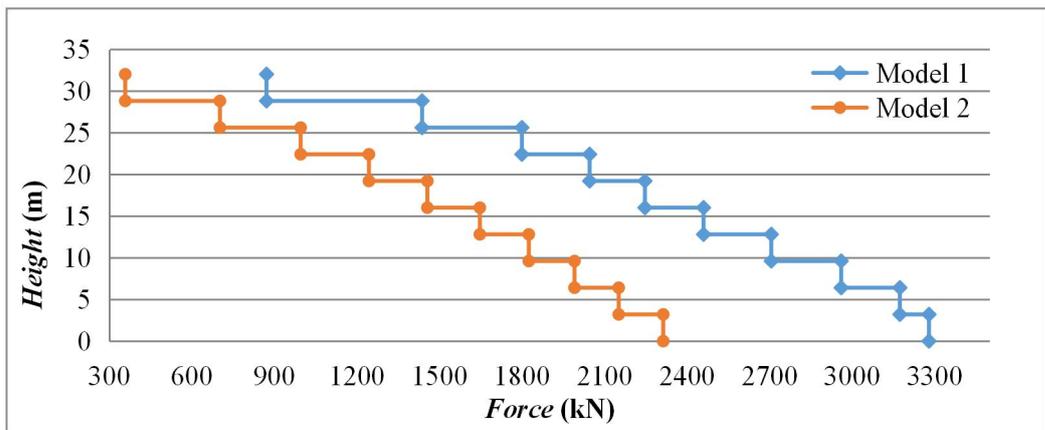
Dilakukan analisis respons spektrum pada kedua model gedung dengan tinjauan; simpangan lantai dan gaya geser tiap lantai. Pada model 2, gaya lateral bekerja pada *base isolation* pada saat terjadi gempa bumi. Hal tersebut mengakibatkan simpangan lantai pada model 2 menjadi lebih besar karena *base isolation* membuat struktur menjadi lebih fleksibel terhadap arah horizontal. Selain itu, adanya disipasi energi yang dimiliki *base isolation* menghasilkan reduksi gaya tiap lantai pada struktur sebesar 33.2% pada arah x dan 32.8% pada arah y untuk gaya geser dasar.



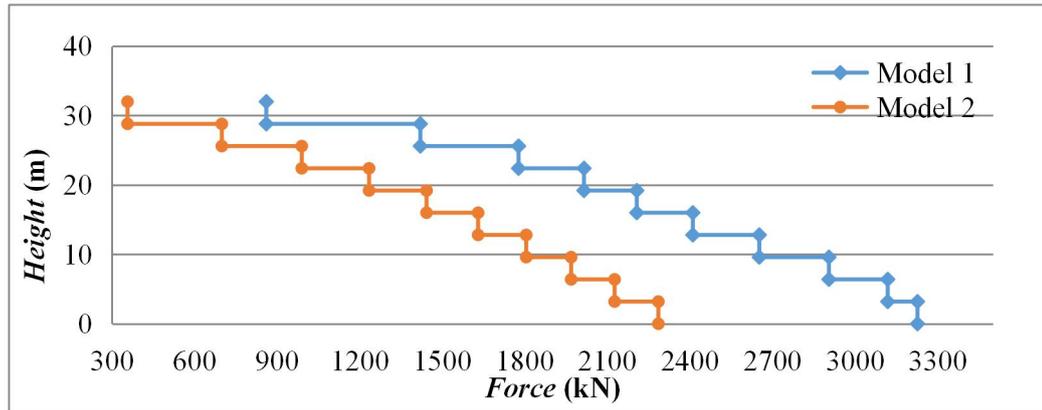
Gambar 7. Perbandingan Simpangan Lantai Arah X



Gambar 8. Perbandingan Simpangan Lantai Arah Y



Gambar 9. Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Arah X



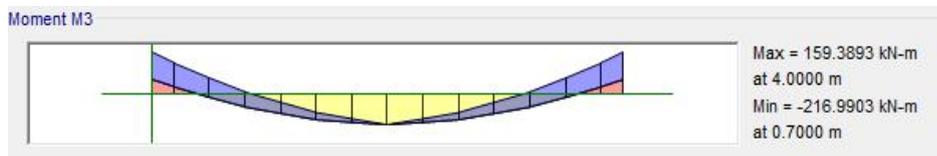
Gambar 10. Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Arah X

Pengaruh *Base Isolation* Terhadap Elemen Struktur

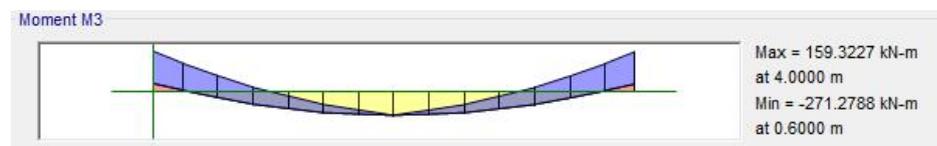
Elemen struktur yang akan dibahas pada penelitian ini adalah balok induk dan kolom. Pada balok induk, yang akan ditinjau adalah kebutuhan tulangan longitudinal. Sedangkan pada kolom, yang akan ditinjau adalah kebutuhan dimensi dan tulangan longitudinal.

Setelah dilakukan analisis, terjadi peningkatan kebutuhan tulangan longitudinal balok pada model 2 sebesar 3.2%. Hal tersebut dapat terjadi karena;

- Seiringan dengan bertambahnya jumlah balok pada model 2, khususnya pada lantai dasar sebagai penguat antar kolom yang terpisah dengan pondasi, maka bertambah juga kebutuhan tulangan longitudinal balok secara keseluruhan.
- Kekakuan horizontal dan vertikal yang dimiliki *base isolation* tidak mampu menahan momen lentur dasar struktur sehingga terjadi distribusi momen ke tingkat di atasnya.

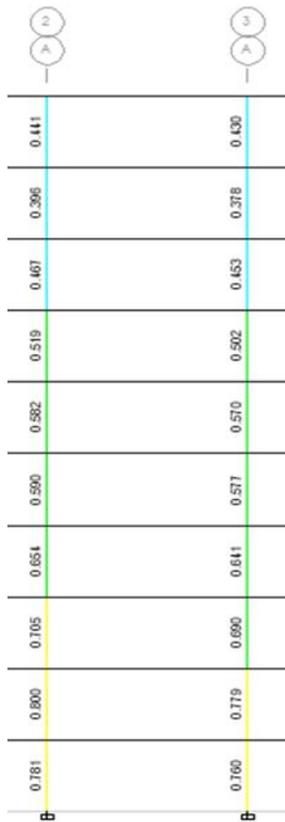


Gambar 11. Diagram Momen Model 1



Gambar 12. Diagram Momen Model 2

Berbeda halnya dengan kolom, *demand/capacity ratio* pada model 2 lebih kecil dibandingkan model 1. Reduksi gaya geser yang dihasilkan dari *base isolation* menghasilkan *demand* yang dimiliki model 2 menjadi lebih kecil dibandingkan dengan model 1. Sebelum dilakukan analisis riwayat waktu, *demand/capacity ratio* pada kedua model diusahakan tidak memiliki perbedaan yang signifikan (perbedaan rasio 0.1-0.2) sehingga optimasi kolom dapat dilakukan. Berdasarkan luas penampang, optimasi yang terjadi pada kolom yang memiliki dimensi 700 x 1200 mm² dan 800 x 1400 mm² menjadi 600 x 1000 mm² dan 700 x 1200 mm². Sedangkan, tulangan longitudinal sebesar 25% dan 24.52%.

**Gambar 13.** D/C Ratio Kolom Model 1**Gambar 14.** D/C Ratio Kolom Model 2**Tabel 6.** Perbandingan Dimensi Kolom Model 1 dan Model 2

Lokasi	Dimensi Kolom (mm)		Optimasi (%)
	<i>Fixed Base</i>	<i>Base Isolation</i>	
Lantai 6-10	700 x 1200	600 x 1000	28.57
Lantai 1-5	800 x 1400	700 x 1200	25.00

Tabel 7. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom Model 1 dan Model 2

Lokasi	Tulangan Longitudinal (mm ²)		Optimasi (%)
	<i>Fixed Base</i>	<i>Base Isolation</i>	
Lantai 6-10	8496	6372	25.00
Lantai 1-5	11256	8496	24.52

Sendi Plastis

Berdasarkan konsep desain, struktur bangunan tahan gempa harus terbuat dari sistem struktur yang perilakunya daktail. Struktur dengan daktilitas tertentu memungkinkan terjadinya sendi plastis. Semakin banyak sendi plastis yang terjadi, maka semakin banyak pula energi yang diserap oleh struktur. Agar struktur memiliki daktilitas yang tinggi, maka harus direncanakan sendi plastis yang terjadi berada pada balok dan bukan terjadi pada kolom. Dalam analisis riwayat waktu digunakan tiga rekaman gempa yaitu El Centro 1940, Denpasar 1979 dan Flores 1992. Pada model 1, selain terjadi di balok sendi plastis juga terjadi di kolom.

Berbeda halnya dengan model 2, sendi plastis hanya terjadi di balok. Hal ini membuktikan bahwa *base isolation* meningkatkan kinerja kolom.

Tabel 8. Terjadinya Sendi Plasti pada Model 1

Rekaman Gempa	Sendi Plastis – Model 1					Lokasi
	Awal		Lokasi	Akhir		
	Periode (detik)			Periode (detik)		
	X	Y	X	Y		
El Centro	4.6	4.6	Balok	5.7	5.7	Balok + Kolom
Denpasar	7.3	7.3	Balok	7.5	7.5	Balok + Kolom
Flores	39.8	39.8	Balok	40.9	40.8	Balok + Kolom

Tabel 9. Terjadinya Sendi Plasti pada Model 2

Rekaman Gempa	Sendi Plastis – Model 2					Lokasi
	Awal		Lokasi	Akhir		
	Periode (detik)			Periode (detik)		
	X	Y	X	Y		
El Centro	4.6	4.6	Balok	5.7	4.9	Balok
Denpasar	11.1	11.1	Balok	11.3	11.3	Balok
Flores	39.9	39.9	Balok	41.1	41.1	Balok

Tingkat Kinerja Struktur

Berdasarkan FEMA 356, tingkat kinerja struktur dibagi menjadi *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP) yang ditentukan berdasarkan *roof drift ratio*. Terjadi perbedaan tingkat kinerja struktur pada model 1 dan model 2 yang dianalisis dengan rekaman gempa Flores. Model 1 memiliki tingkat kinerja struktur LS sedangkan model 2 memiliki tingkat kinerja struktur IO.

Tabel 10. Perbandingan Tingkat Kinerja Struktur

Rekaman Gempa	Model	Perpindahan Maksimum (mm)		Tinggi Gedung (mm)	Rasio		Tingkat Kinerja Struktur
		X	Y		X	Y	
		El Centro	1		131.29	133.74	
	2	63.72	66.10	0.0020	0.0021	IO	
Denpasar	1	75.66	68.10	32000	0.0024	0.0021	IO
	2	40.26	41.18		0.0013	0.0013	IO
Flores	1	176.83	185.57	32000	0.0055	0.0058	LS
	2	137.54	144.86		0.0043	0.0045	IO

KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji dua model gedung yang identik sama secara geometri tetapi memiliki perbedaan pada dasar gedung yaitu penggunaan *fixed base* dan *base isolation*. Melalui analisis respons spektrum diperoleh hasil berupa reduksi gaya geser dasar akibat disipasi energi yang dimiliki *base isolation* sebesar 29.47% pada arah x dan 29.19% pada arah y. Selain itu, hasil pengecekan kolom menunjukkan bahwa penggunaan *base isolation* berdampak pada kekuatan dan kinerja kolom sehingga terjadi optimasi dimensi dan tulangan longitudinal. Besarnya optimasi pada dimensi kolom adalah 25% (800 x 1400 mm² menjadi 700 x 1200 mm²) pada lantai 1-5 dan 28.57% (700 x 1200 mm² menjadi 600 x 1000 mm²) pada lantai 6-10. Seiringan dengan hal tersebut, terjadi optimasi kebutuhan tulangan longitudinal sebesar 24.52% dan 25%. Di sisi lain, penggunaan *base isolation* meningkatkan kebutuhan tulangan longitudinal pada balok induk sebesar 3.2%. Hal tersebut dikarenakan kekakuan yang dimiliki *base isolation* tidak mampu menahan momen lentur pada kolom sehingga terjadi distribusi momen.

Berdasarkan analisis riwayat waktu, kedua model gedung masih dapat beroperasi setelah diuji dengan rekaman gempa El Centro dan Denpasar. Namun, terjadi perbedaan tingkat kinerja struktur dengan pengujian rekaman gempa Flores. Model 2 memiliki tingkat kinerja struktur *immediate occupancy*, sedangkan model 1 memiliki tingkat kinerja struktur *life safety* sehingga memerlukan sedikit perbaikan untuk dapat beroperasi kembali ketika gempa yang serupa terjadi. Hal lain yang tentunya menjadi salah satu tinjauan utama adalah sendi plastis. Pada model 2 sendi plastis hanya terjadi pada balok, sedangkan pada model 1 sendi plastis terjadi pada balok dan kolom. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *base isolation* membantu meningkatkan daktilitas suatu struktur.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan perbandingan *lead rubber bearing* dengan *base isolation* lainnya (*friction pendulum bearing*, *high damping rubber bearing*, *rollerand ball bearing* atau *flat slider bearing*) sehingga dapat dijadikan acuan dalam mempertimbangkan penggunaan *base isolation* yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- SNI 1726:2012. *Standar Nasional Indonesia 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- SNI 1727:2013. *Standar Nasional Indonesia 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency. Washington, DC.
- FEMA 451. (2007). *NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structure: Training and Instructional Materials*. Federal Emergency Management Agency. Washington, DC.
- IBC (2000). *International Building Codes*. International Code Council. Washington, DC.
- Kelly, T.E. (2001). *Base Isolation of Structure*. Holmes Consulting Group Ltd. Wellington, New Zealand.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Ambasta, S., Sahu, D., dan Khare, G.P. (2018). "Analysis of the Base Isolated Building (Lead Plug Bearing) in ETABS". *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 05, No.1.
- Somasekharaiah, H.M., Dharmesh, Er. N., dan Ghouse, M. (2016). "A Comparative Study on RC Frame Structure Considering Lead Rubber Bearing and Triple Friction Pendulum Bearing". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol 5. No. 8.

- Ismail, F. A. (2012), “Pengaruh Penggunaan Seismic Base Isolation System Terhadap Respons Struktur Hotel Ibis Padang”. *Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8, No. 1*.
- Patel, Y., dan Kumar, P.P. (2017). “Comparision of Fixed Base and Base Isolation Reinforced Concrete Structure for Seismic Response”. *International Journal of Advance Engineering and Research Development, Vol. 4. ISSN: 2348-4470*.
- Ridho, A.S., Welsi, Chandra, Y., dan Jalalul, S.A. (2017). “Studi Komparasi Base Shear pada Gedung Menggunakan Base Isolator Dan Non Base Isolator”. *Teras Jurnal, Vol.7, No. 4*.
- Pratama, F., Setiya, A.B., dan Wibowo. (2014). “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Time History pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS”. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, Vol.2, No. 3*.
- Soemitro, R.A.A. & Suprayitno, H. (2018). “Pemikiran Awal tentang Konsep Dasar Manajemen Aset Fasilitas”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 2, Suplemen 1, Juni 2018, Hal. : 1-13*.
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). “Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 2, No. 1, Maret 2018, Hal. : 1-9*.
- UU 28/02. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*.

