

Perbandingan Pengaruh High Damping Rubber Bearing Dan Lead Rubber Bearing Terhadap Kinerja Struktur

Ghewa Gabriel

Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

email: ghewa@unika.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang dikelilingi oleh barisan gunung berapi, atau biasa disebut *ring of fire*. Dengan adanya aktivitas seismik yang tinggi, bangunan di Indonesia harus didesain agar menghasilkan performa yang baik dalam menahan gaya gempa, sehingga tidak menimbulkan korban jiwa. *Base isolator*, seperti HDRB dan LRB merupakan sebuah inovasi yang digunakan dalam pembangunan gedung untuk memberikan ketahanan yang baik pada pondasi, sehingga ketika terjadi gempa, getaran gempa tidak sampai mengakibatkan kerusakan berat pada struktur atas. Analisis dilakukan terhadap gedung apartemen tanpa *rubber bearing* sebagai komparasi. Penggunaan HDRB dan LRB dalam penelitian ini mampu memberikan kenaikan level kinerja struktur dari *Collapse Prevention* menjadi *Immediate Occupancy* dan *Life safety*, serta mereduksi *displacement* gedung sebesar 95% dan 91.3%.

Kata Kunci : *Damper, Rubber bearing, Gempa, Gedung.*

Abstract

Indonesia's region is surrounded by volcanoes, or commonly called the ring of fire. Because of that, buildings in Indonesia must be designed to have good performance on resisting earthquake forces, so the risk can be minimalized. Base isolator, such as HDRB and LRB, are one of many innovations used in building construction to provide good resistance to the building base, so that when an earthquake occurs, earthquake vibrations do not cause heavy damage to the superstructure. The analysis was carried out on apartment buildings without rubber bearings as a comparison material. The use of HDRB and LRB in this study was able to provide an increase in structural performance from Collapse Prevention to Immediate Occupancy and Life safety, as well as reduce building displacement by 95% and 91.3%.

Keywords: *Damper, Rubber Bearing, Earthquake, Building.*

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia merupakan wilayah yang cukup banyak mengalami gempa vulkanik, yang berarti Indonesia memiliki deretan gunung berapi, sehingga di Indonesia sering terjadi gempa, baik gempa tektonik maupun vulkanik. Menurut data dari katalog gempa bumi signifikan dan merusak yang dikeluarkan oleh BMKG, pada tahun 2018 terdapat 23 gempa bumi dengan daya rusak signifikan. Gempa

merupakan salah satu penyebab kerusakan pada struktur bangunan. Karena itu, diperlukan material untuk meningkatkan performa gedung saat terjadi gempa, sehingga tidak terjadi kerusakan berat pada struktur bangunan. Penggunaan *High Damper Rubber Bearing* (HDRB) dan *Lead Rubber Bearing* (LRB) telah umum digunakan di negara-negara maju, tetapi belum umum digunakan di Indonesia. Selain karena perbedaan topografi, perbedaan karakter wilayah juga

mempengaruhi pemilihan material ini. Penggunaan HDRB dan LRB diharapkan dapat meningkatkan performa struktur untuk menahan gaya gempa lebih maksimal dari gedung yang tidak menggunakan HDRB dan LRB.

LANDASAN TEORI

Klasifikasi tanah di Indonesia terbagi menjadi empat bagian. Umumnya di Indonesia, mayoritas daerah perkotaan masuk dalam klasifikasi tanah lunak. Beberapa kasus likuifaksi tanah terjadi di kota-kota besar. Sementara, pembangunan gedung-gedung bertingkat banyak terdapat di perkotaan besar. Untuk itu, dibutuhkan sebuah perencanaan yang dapat mengakomodir kinerja gedung menjadi lebih baik pada perkotaan. *Base isolator* adalah sebuah inovasi dalam pembangunan gedung tahan gempa, yang menempatkan bantalan karet berkekuatan tinggi pada sambungan antara pondasi (bangunan bawah) dan struktur bangunan atas. *Base isolator* menjaga struktur di atasnya agar tidak mengalami getaran sebesar yang dialami oleh pondasi. Saat gempa terjadi, struktur bangunan bergerak akibat pergerakan pada tanah yang berdampak pada pergerakan pondasi. Pergerakan tanah tidak memiliki arah yang pasti (bergerak secara acak), maka getaran yang timbul pada pondasi menjadi tidak memiliki arah yang pasti sehingga bangunan yang memiliki sifat kaku, menjadi lebih mudah runtuh. (Wicaksono, 2017).

Base isolator yang terpasang antara struktur bangunan atas dan pondasi akan meredam getaran dari pondasi, karena *base isolator* memiliki bantalan karet untuk meredam getaran, sehingga getaran yang dialami oleh struktur atas bangunan tidak sebesar yang dialami pondasi. Karena bantalan karet pada *base isolator* bersifat elastis, maka arah getaran yang acak tadi mampu untuk diredam, sehingga struktur

atas bangunan bergerak tidak dengan arah yang acak (Wicaksono, 2017). HDRB dan LRB adalah jenis base isolator yang akan digunakan dalam pemodelan bangunan kali ini. HDRB merupakan *base isolator* yang terdiri dari karet yang memiliki kekakuan terhadap arah horizontal yang lebih kecil. Adapun bahan tambahan lain seperti *fine carbon block* yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan meredam dari HDRB. Sementara untuk menahan gaya yang bekerja pada arah vertikal, diberikan lempengan baja yang dilekatkan dengan sistem vulkanisir (Teruna, 2014). Adapun jenis *isolator* lainnya yaitu LRB, yang terdiri dari karet dan baja berinti timah yang dilaminasi dengan dengan pelat baja. LRB ini bertindak sebagai pegas yang meredam gaya getaran sekaligus penyerap gaya yang diterima

METODE PENELITIAN

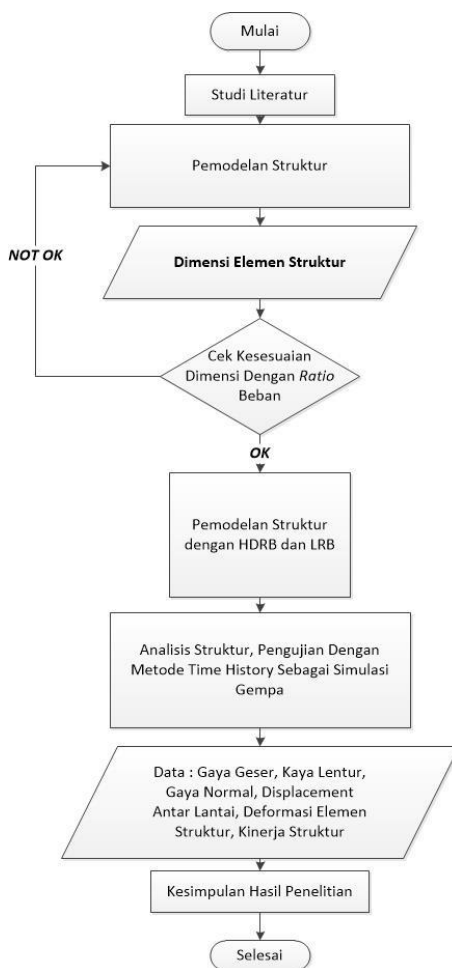
Beberapa tahapan yang dilaksanakan dalam simulasi ketahanan bangunan terhadap gempa dapat dilihat sebagai berikut.

1. Memodelkan struktur bangunan atau mengambil contoh desain dari struktur yang sudah ada
2. Memodelkan jenis *base isolator* yang akan dipakai dalam perencanaan bangunan tahan gempa dengan bantuan *software*.
3. Menginput pembebanan sesuai ketentuan dalam SNI 1726-2019 untuk bangunan tahan gempa, sesuai kaidah *Load Resistance Factor Design*, atau biasa ditulis dengan LRFD.
4. Menganalisis gaya dalam yang bekerja pada struktur bangunan
5. Menganalisis performa struktur yang terdiri dari ketahanan terhadap geser, lentur, *displacement*

maksimal yang dihasilkan, kurva kinerja struktur yang dihasilkan, level kinerja struktur yang dihasilkan

6. Membuat analisis perbedaan dari pemakaian HDRB dan LRB pada sebuah struktur gedung yang sama.
7. Menyimpulkan perbedaan apa saja yang terdapat pada pemakaian HDRB dan LRB, dan memberi rekomendasi mana yang lebih baik digunakan untuk pembangunan di Indonesia pada khususnya.

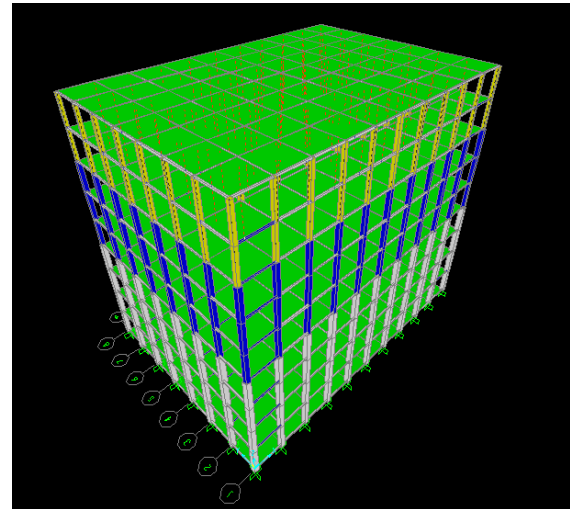
Alur penelitian simulasi terhadap ketahanan gempa dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Model Umum Bangunan

Konfigurasi *layout* bangunan apartemen dimodelkan seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Struktur

Pemodelan dilakukan berdasarkan model bangunan pada sebuah kota di Provinsi Jawa Timur yang memiliki panjang 40 meter, lebar 28 meter, dan tinggi 36 meter. Bangunan tersebut memiliki data umum struktur seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data Umum Struktur

Data	Keterangan
Fungsi Gedung	Gedung Apartemen
Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan Gempa	1.0
Kolom 1	60 cm x 60 cm
Kolom 2	50 cm x 50 cm
Kolom 3	40 cm x 40 cm
Balok 1	30 cm x 45 cm
Balok 2	25 cm x 35 cm
Pelat Lantai	12 cm
Pelat Atap	12 cm
Mutu Tulangan	BJ-41
Mutu Beton	27 MPa
Model Desain	SRPMK

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan pada penelitian ini mengikuti kombinasi pembebanan dasar sesuai dengan SNI 1726:2019 bagian 4.2.2.1 sebagai berikut :

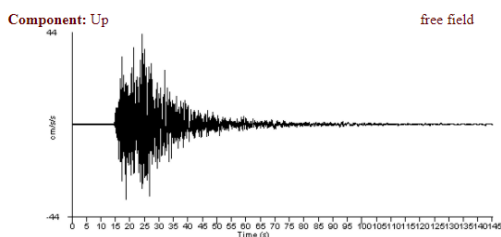
- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0.5 (Lr atau R)
- 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0.5 W)
- 1,2D + 1,0W + L + 0.5 (Lr atau R)
- 0.9D + 1.0W

Keterangan :

- D = Beban Mati
- L = Beban Hidup
- Lr = Beban Hidup Atap
- R = Beban Air Hujan
- W = Beban Angin

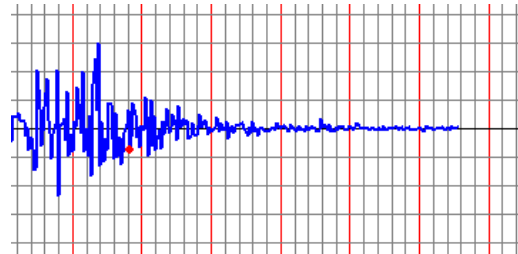
Analisa Time History

Pengambilan data gempa dilakukan dengan melakukan pengunduhan melalui *Strong-Motion Virtual Data Center (VDC)*. Data yang diambil adalah data gempa yang terjadi pada sebuah negara dengan besaran antara 6.5-7.0 *Magnitude Momen (Mw)*. Didapatkan data gempa 6.7 Mw yang terjadi di Hokkaido pada tanggal 14 Januari 2016 pukul 03:25:34 *Universal Time Coordinate (UTC)*. Kemudian dari data yang diambil, dilakukan plotting acceleration yang menunjukkan grafik hubungan antara percepatan tanah maksimum terhadap periode gempa. Hubungan antara kedua variabel tersebut ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan PGA dan Periode Gempa tanggal 14 Januari 2016 di Hokkaido-Jepang

Dari grafik tersebut, kemudian diambil *activity log* saat gempa terjadi dan diolah menjadi sebuah grafik *time history* dengan program komputer, dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Time History Gempa Hokkaido-Jepang

HDRB dan LRB

Spesifikasi HDRB dan LRB yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Spesifikasi HDRB

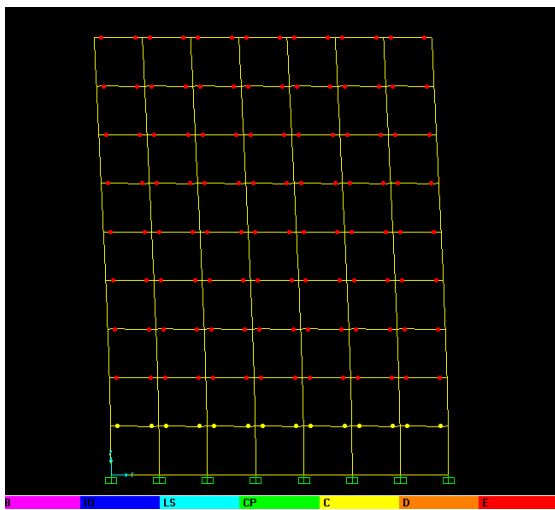
HDRB Property	Nilai
Effective Diameter (mm)	850
Shear Modulus (N/mm ²)	0.60
Rubber Layer Thickness (mm)	5.8
First Shape Factor (N/mm ²)	37.3
Second Shape Factor (N/mm ²)	4.21
Weight (kN)	14.2

Tabel 3. Spesifikasi LRB

LRB Property	Nilai
Total Bearing Diameter (mm)	442
Shear Modulus (N/mm ²)	0.9
First Shape Factor (N/mm ²)	10.2
Second Shape Factor (N/mm ²)	1.32
Weight (kN)	8.4

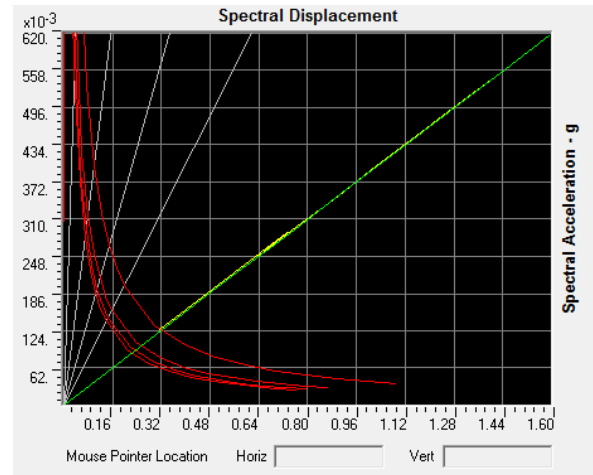
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Gedung yang telah dimodelkan kemudian diproses untuk mendapatkan kondisi pasca gempa, dengan memberikan simulasi gempa pada *software* berdasarkan grafik *time history* yang telah dibuat seperti pada gambar 4. Kondisi pasca gempa dianalisis berdasarkan indikator warna sendi plastis, yang menunjukkan level kinerja struktur berdasarkan FEMA-440. Kondisi pasca gempa pada gedung dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kondisi Level Kinerja Struktur Pasca Simulasi Gempa.

Pada gambar 5, terlihat sendi plastis berwarna kuning pada beberapa elemen struktur. Berdasarkan keterangan pada *software* yang mengacu pada FEMA 440, warna kuning menunjukkan level kinerja struktur berada pada fase *collapse prevention* seperti gambar 6.



Gambar 6. Kurva Kapasitas Struktur Bangunan

Gambar 6 menunjukkan bahwa perpotongan garis *capacity spectrum* dan level kinerja struktur berada pada fase paling akhir, yaitu *collapse prevention*. Pada level *collapse prevention*, bangunan dianggap memiliki kerusakan yang parah, pada elemen struktur maupun non struktur. Bangunan yang berada pada level *collapse prevention* hampir dipastikan dapat runtuh jika terjadi gempa susulan dengan magnitudo yang tidak jauh berbeda dengan gempa awal, karena kekuatan dan kekakuan struktur berkurang cukup signifikan. Sangat mungkin terjadi korban jiwa. Data *displacement* per lantai dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Displacement Pada Tiap Tingkat Bangunan Terhadap Arah X, Y, dan Z

LANT AI	JOIN T	X	Y	Z
		mm	mm	mm
1	1	0	0	0
2	199	-0.078521	-52.724261	0.386984
3	287	0.163012	190.522829	0.739352
4	375	0.191897	388.945274	1.054751
5	463	0.184317	627.718497	1.327723

LANTAI	JOINT	X	Y	Z
6	551	-0.167101	-890.769624	-1.554418
7	639	-0.142035	-1166.00168	-1.732511
8	727	-0.075051	-1445.10517	-1.860927
9	815	-0.002406	-1723.45513	-1.939587
10	903	0.008644	-1999.99332	-1.969044

Pada tabel 4, terlihat bahwa nilai *displacement* per lantai paling besar terjadi terhadap sumbu arah Y. Tanda negatif (-) menunjukkan arah dan bukan besaran. Karena itu, *displacement* gedung hanya ditinjau terhadap sumbu Y. Untuk meninjau apakah gedung yang dianalisis memenuhi syarat kinerja batas layan, perlu dihitung *displacement* izin yang direkomendasikan sesuai SNI 1726-2002 yang dihitung dengan rumus:

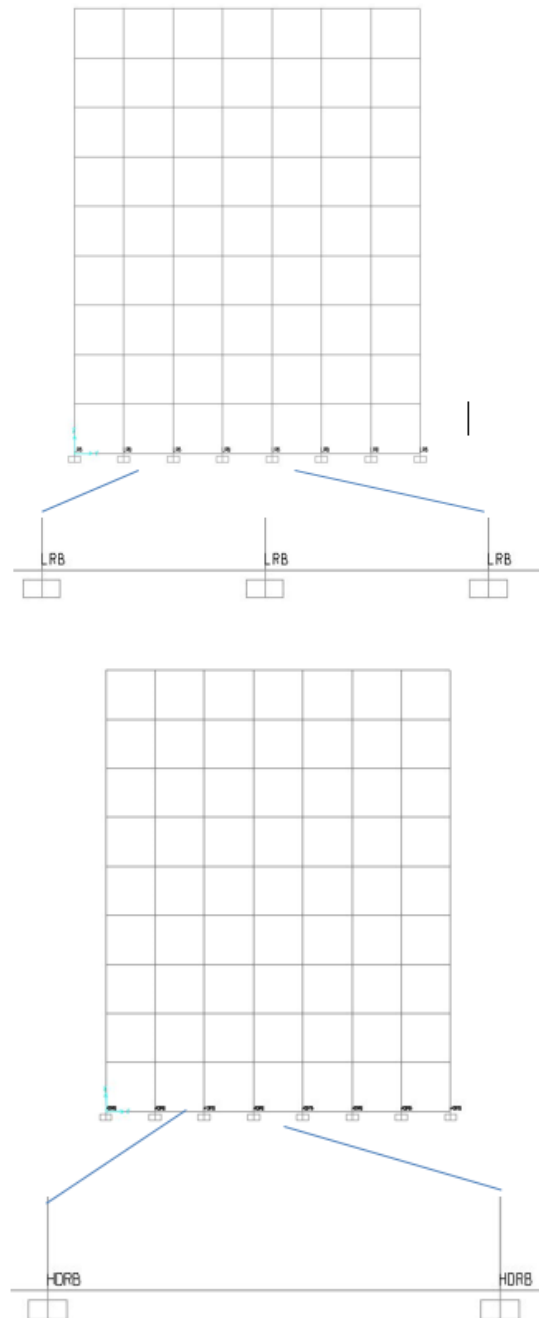
$$\Delta = \frac{0.03}{R} * h \quad (1)$$

Dengan :

R = Faktor Modifikasi Respon Gempa

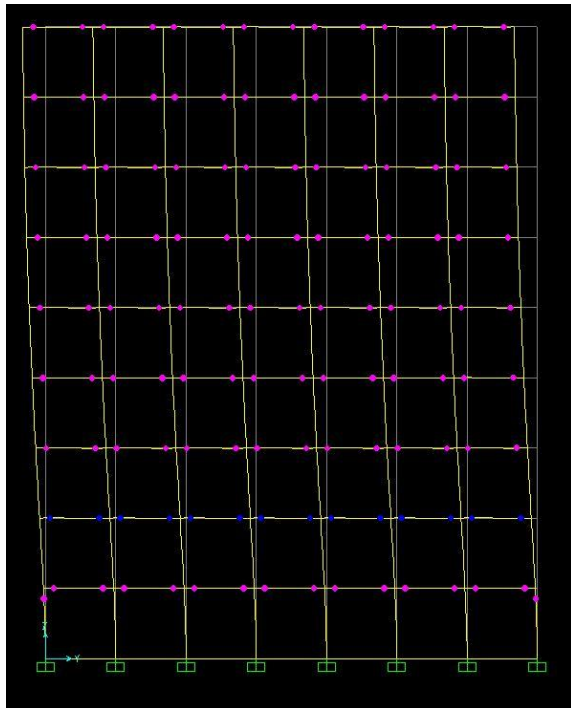
h = Tinggi lantai

Dengan rumus (1), didapatkan bahwa *displacement* izin untuk gedung yang dianalisis dalam penelitian ini adalah sebesar 1500mm, atau 1.5m. *Displacement* maksimum pada gedung yang dianalisis adalah sebesar 1999mm atau 1.999m. Gyang dianalisis belum memenuhi syarat kinerja batas layan. Pemodelan gedung dengan *LRB* dan *HDRB* sesuai spesifikasi yang tertulis pada tabel 2 dan tabel 3 seperti pada gambar 8.

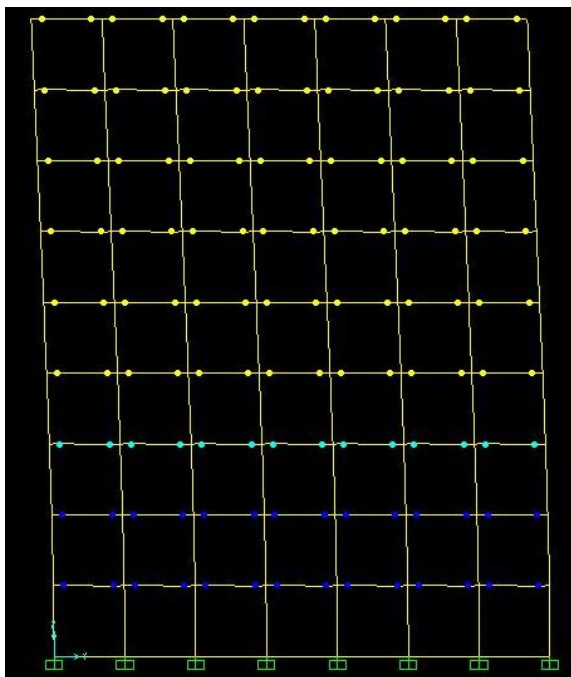


Gambar 8. Model setelah dipasang HDRB dan LRB

Kemudian dengan analisis *time history* berdasarkan gempa yang terjadi di Hokkaido-Jepang, rekap hasil yang ditunjukkan dapat dilihat pada gambar 9 dan 10

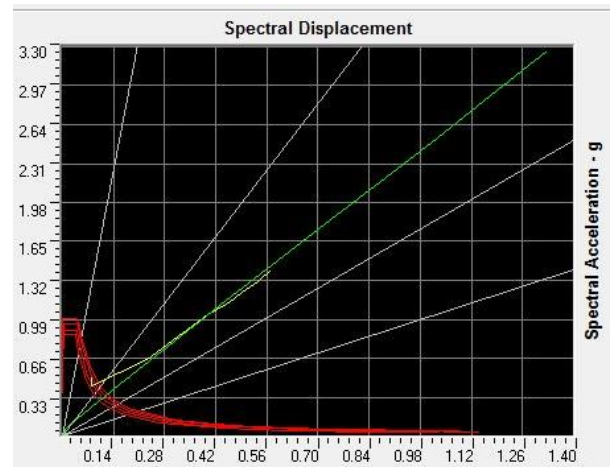


(a)

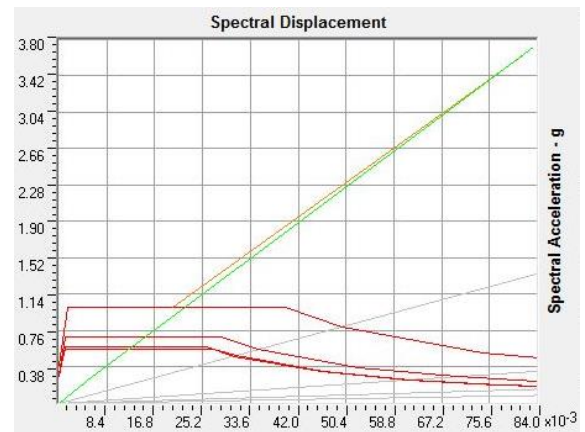


(b)

Gambar 9. Indikator Sendi Plastis Pasca Simulasi Gempa Pada Kondisi Bangunan Dengan (a) HDRB dan (b) LRB



(a)



(b)

Gambar 10. Kurva Level Kinerja Struktur dengan (a) LRB dan (b) HDRB

Penggunaan HDRB mampu meningkatkan kinerja bangunan dari yang sebelumnya mencapai level *Collapse Prevention* menjadi level *Immediate Occupancy*, sedangkan penggunaan LRB mampu meningkatkan level kinerja struktur menjadi level *Life Safety*. Sedangkan ditinjau dari *displacement* yang terjadi pada tiap lantai perbandingannya disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Displacement Gedung Yang Menggunakan LRB dan HDRB

LANTAI	JOINT	Displacement	
		LRB	HDRB
		mm	mm
1	1	0	0
2	199	16.668228	12.935036
3	287	39.697013	28.400526
4	375	66.340219	44.73697
5	463	96.437693	56.025438
6	551	103.356381	67.170774
7	639	127.032913	81.325966
8	727	138.517711	91.698501
9	815	152.102946	96.492603
10	903	173.728792	102.933548

Penggunaan LRB dan HDRB menekan nilai *displacement* antar lantai sekitar 90%. Namun dapat dilihat juga penggunaan HDRB mampu memberikan performa yang lebih baik dari LRB, ditinjau terhadap kinerja struktur dan *displacement* yang terjadi per lantai. LRB dapat secara efektif menyeimbangkan *displacement* dan gaya geser dasar menggunakan *shape memory alloy* yang relative lebih kecil (Zheng et al, 2022). Namun dalam meredam sebuah gaya dalam jangka panjang, perilaku *hysteresis* LRB akan membueurk karena kekuatan *dampner* berkurang secara bertahap selama gerakan siklik akibat peningkatan panas pada inti peredam (Kanbir, 2020). Sedangkan karakteristik dinamis HDRB yang diuji dalam penelitian Reggio et al (2014), ketika dilakukan *seismic test* dengan model El-Centro akselelogram, HDRB mampu menekan *Peak Ground Acceleration* sampai dengan 70-80 persen dalam rentang frekuensi 1-20 Hz (Reggio et al, 2014). HDRB merupakan *base isolator* yang digolongkan pada jenis *elastomer bearing*. HDRB menggunakan karet untuk meredam gaya gempa. Performa HDRB akan meningkat seiring dengan kenaikan skala gempa atau getaran yang diterima. Kekakuan HDRB akan meningkat akibat

efek pengerasan (*hardening effect*). Efek pengerasan ini berfungsi agar *displacement* yang terjadi tidak melebihi batas yang diizinkan (Budi, 2014). Sedangkan LRB merupakan *base isolator* yang masuk ke dalam jenis *laminated rubber bearing* dengan menggunakan karet dan timah pada bagian inti. Lapisan karet sebagai peredam dan timah sebagai penyerap gaya yang diterima. Sifat LRB pada gedung fleksibel terhadap arah horizontal, tetapi memiliki sifat kaku pada arah vertikal (Manalu, 2015). Beberapa penelitian tersebut mengonfirmasi hasil dari penelitian ini, yang menyatakan penggunaan HDRB lebih aman jika dibandingkan dengan LRB, ditinjau dari kinerja struktur dan kinerja batas layan gedung.

KESIMPULAN.

Kesimpulan yang diambil dari penelitian *modeling* ketahanan bangunan terhadap gempa ini adalah:

1. Model bangunan dengan HDRB memberikan kenaikan level kinerja struktur dari *Collapse Prevention* menjadi *Immediate Occupancy*.
2. Model bangunan dengan LRB memberikan kenaikan level kinerja struktur dari *Collapse Prevention* menjadi *Life Safety*.

HDRB mereduksi nilai *displacement* puncak pada *joint* 903 sebesar 95%, dan LRB mereduksi nilai *displacement* puncak pada *joint* 903 sebesar 91.3%.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, Jakarta.

- Budiono, B., & Setiawan, A. (2014). Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, 21(3), 180.
- Manalu, I. (2015). Studi penggunaan lead rubber bearing sebagai *base isolator* dengan model jembatan kutai kartanegara pada Zona zona gempa di indonesia. *Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Reggio Anna, De Angelis Maurizio (2014). Combined primary-secondary system approach to the design of an equipment isolation system with High-Damping Rubber Bearings. *Journal of Sound and Vibration*. Vol 333, 2386-2403. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.12.006>
- Teruna, D. (2014). Analisis Respon Bangunan Dengan *Base isolator* Akibat Gaya Gempa, *Jurnal Sistem Teknik Industri*, Vol6(August), 0–6.
- Wicaksono, A.D., Wahyuni Endah (2017). Modifikasi Perencanaan Gedung RSUD Koja Jakarta Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton dengan *Base isolator : High Damping Rubber Bearing*. *Jurnal Teknik ITS*, Vol 6, p. 98-103.
- Wenzhi Zheng, Ping Tan, Jian Li, Hao Wang, Jiajun Tan, Zhuo Sun (2022). Sliding-LRB incorporating superelastic SMA for seismic protection of bridges under near-fault earthquakes: A comparative study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 155. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107161>
- Zafer Kanbir, Cenk Alhan, Gökhan Özdemir (2020). Influence of superstructure modeling approach on the response prediction of buildings with LRBs considering heating effects. *Structures*. Vol 28, 1756-1773. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.061>