

Analisis Pengaruh Penggunaan *High Damping Rubber Bearing* (Hdrrb) Terhadap Level Kinerja Struktur Dengan Analisis *Non-Linear Time History* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung X)

Alfredo Tjokrohadi¹, Christopher Aditya Cahya Dewata², Gabriel Jose Posenti Ghewa³, Budi Setiadi⁴

email: ¹19b10019@student.unika.ac.id, ²19b10069@student.unika.ac.id, ³ghewa@unika.ac.id, ⁴budi_setiadi.unika.ac.id

^{1,2,3}Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Dhuwur, Semarang 50234

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Dhuwur, Semarang 50234

Abstrak

Indonesia berada di tiga lempeng tektonik dunia. Lokasi geografis tersebut menyebabkan aktivitas seismik atau gempa bumi yang signifikan dalam hal jumlah dan kekuatan gempa. Untuk itu, perencanaan struktur bangunan harus diperhitungkan dengan tepat. Untuk meminimalisir kerusakan bangunan, perkuatan struktur merupakan salah satu cara mendesain bangunan tahan gempa. Sistem isolasi seismik menggunakan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) merupakan salah satu pilihannya. Analisis menggunakan data *time history* diharapkan agar hasil analisis dapat menyerupai keadaan yang sesungguhnya. Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan simulasi *time history* Sumatra Tahun 2007 dengan skala 8,4 M_w. Gempa *time history* Sumatra berlangsung selama 129 detik. Struktur gedung yang menggunakan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing* mampu meredam simpangan yang terjadi dengan redaman rata-rata 49,216 %. Selain itu, terlihat bahwa penggunaan *High Damping Rubber Bearing* dapat menstabilkan *displacement* lebih baik daripada penggunaan jepit konvensional. *High Damping Rubber Bearing* mampu mereduksi *displacement* arah X sebesar 61,790 %, arah Y sebesar 77,853 %, dan arah Z sebesar 52,146 %. Penggunaan *High Damping Rubber Bearing* dapat menaikkan level kinerja struktur Gedung X yang awalnya *life safety* menjadi *level operational*.

Kata kunci : *time history*, *high damping rubber bearing* (HDRB), *displacement* (simpangan), level kinerja struktur.

Abstract

Indonesia is on three tectonic plates in the world. This geographic location causes significant seismic activity or earthquakes in terms of the number and strength of earthquakes. For this reason, the planning of the building structure must be taken into account appropriately. To minimize damage to buildings, structural strengthening is one way to design earthquake-resistant buildings. A seismic isolation system using High Damping Rubber Bearings (HDRB) is one option. Analysis using time history data is expected so that the analysis results can resemble the real situation. The earthquake analysis in this study used a time history simulation of Sumatra in 2007 with a scale of 8.4 Mw. The time history of the Sumatra earthquake lasted 129 seconds. Building structures that use base isolators in the form of High Damping Rubber Bearings are able to reduce deviations that occur with an average damping of 49.216%. Apart from that, it appears that the use of High Damping Rubber Bearings can stabilize displacement better than the use of conventional clamps. High Damping

Rubber Bearings are able to reduce displacement in the X direction by 61.790%, in the Y direction by 77.853%, and in the Z direction by 52.146%. The use of High Damping Rubber Bearings can increase the level of structural performance of Building X from life safety to operational level.

Keywords: time history, high damping rubber bearing (HDRB), displacement, structural performance level.

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur bangunan harus diperhitungkan dengan tepat, dikarenakan Indonesia berada di tiga lempeng tektonik dunia (sumber: BMKG Denpasar diakses dari <https://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>). Lokasi geografis tersebut menyebabkan aktivitas seismik atau gempa bumi yang signifikan dalam hal jumlah dan kekuatan gempa.

Pelepasan energi akibat gempa akan disalurkan melalui media tanah di daerah sumber gempa berupa gelombang energi elastis. Menurut Nasution dan Purqon (2016), gelombang energi akibat gempa akan mengakibatkan struktur bangunan gedung ikut bergetar atau bergoyang. Semakin kuat gelombang energi maka dapat mengakibatkan kerusakan parah pada suatu struktur bangunan. Sehingga diperlukan sebuah desain khusus dalam sebuah bangunan gedung.

Adapun beberapa bangunan yang dirancang khusus, sehingga ketika terjadi gempa barang-barang atau fasilitas didalamnya tidak rusak. Bangunan tersebut antara lain fasilitas kesehatan dan museum yang menyimpan barang-barang bersejarah ataupun bernilai tinggi. Hal ini dikarenakan nilai perabot atau barang-barang tersebut dapat lebih mahal dibandingkan biaya perbaikan pasca gempa.

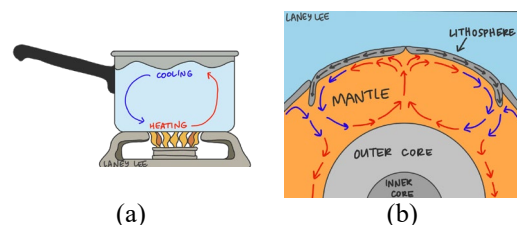
Untuk meminimalisir kerusakan bangunan, perkuatan struktur merupakan salah satu cara mendesain bangunan tahan gempa. Sistem isolasi seismik menggunakan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) merupakan salah satu pilihannya. Penggunaan HDRB dapat memberikan performa yang lebih baik dari isolator lain berdasarkan *displacement* yang terjadi (Ghewa, 2022). Selain itu, HDRB memiliki sifat dinamis sehingga ketika terjadi gempa performa HDRB

meningkat seiring dengan kenaikan skala gempa yang diterima. HDRB memiliki efek pengerasan agar simpangan yang terjadi tidak melebihi batas yang diizinkan (Budi, 2014). Sehingga penggunaan HDRB cocok untuk meredam gaya secara horizontal maupun vertikal.

KAJIAN PUSTAKA

Gempa Bumi

Menurut KBBI, gempa secara geologi merupakan peristiwa alam dalam bentuk getaran maupun gelombang pada lapisan kulit bumi oleh tenaga asal dalam. Gempa dapat disebabkan oleh berbagai sumber diantaranya akibat dari pergeseran lempeng bumi dan aktivitas gunung berapi. Lempeng bumi yang merupakan bagian dari lapisan litosfer dapat bergeser karena berada di atas selimut bumi. Selimut bumi memiliki karakteristik seperti fluida dan bergerak karena adanya arus konveksi yang disebabkan panas dari inti bumi (Sumber: Pengenalan Gempa Bumi oleh Kementerian ESDM). Pengaruh arus konveksi pada selimut bumi terhadap pergeseran lempeng bumi dapat diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Arus Konveksi dan (b) Arus Konveksi pada Lempeng Tektonik (Sumber: <https://laney-lee.com/convection-currents-plate-tectonics/>)

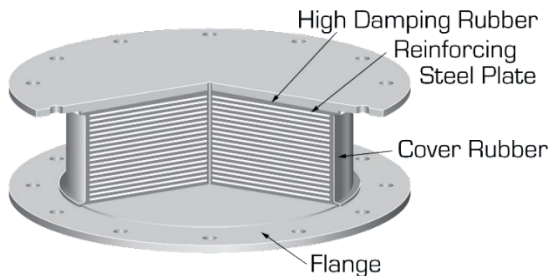
High Damping Rubber Bearing

Tahun 1950an, *Natural Rubber Bearing* mulai banyak digunakan sebagai bantalan ekspansi termal pada jembatan jalan tol dan isolator getaran bangunan gedung (Kelly dan Konstantinidis, 2011). Baru di tahun 1969, untuk pertama kalinya *Natural Rubber Bearing* digunakan sebagai perlindungan struktur bangunan gedung terhadap gaya gempa. Bangunan tersebut adalah sekolah dasar di Macedonia yang dapat diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bangunan Sekolah Dasar di Macedonia (Sumber: Kelly dan Konstantinidis, 2011)

High Damping Rubber biasanya tidak memerlukan tambahan *damper* terpisah seperti penambahan *viscous damper* pada sistem isolasi. Hal ini membuat *High Damping Rubber* cocok digunakan pada bangunan yang memiliki lahan terbatas. Kurva histeresis *High Damping Rubber Bearing* juga cenderung lebih halus jika dibandingkan dengan LRB, sehingga lebih cocok digunakan untuk bangunan gedung. *High Damping Rubber Bearing* dapat diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *High Damping Rubber Bearing* (Sumber: Bridgestone, 2017)

Menurut *Doshin Rubber Engineering* (2017) *rubber bearing* dapat didesain untuk memiliki karakteristik yang diinginkan dengan mengatur parameter seperti:

1. Modulus geser pada senyawa bantalan karet
2. Luas penampang
3. Ketebalan karet
4. Ketebalan pelat baja
5. Jumlah lapisan karet dan pelat baja

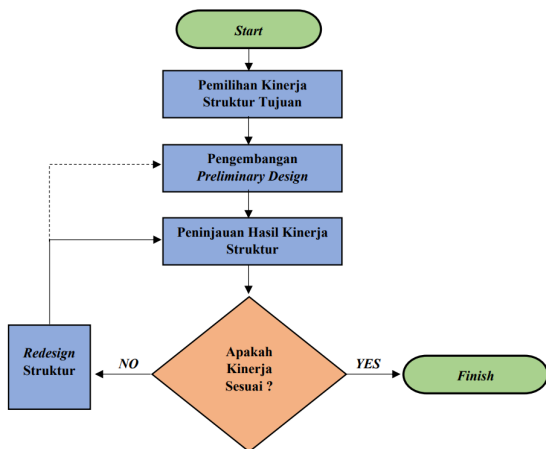
Pemilihan *rubber bearing* yang tepat, perlu memerhatikan beberapa parameter pada spesifikasi *rubber bearing* diantaranya:

1. Kekakuan horizontal atau *horizontal stiffness* (kN/mm)
2. Kekakuan vertikal atau *vertical stiffness* (kN/mm)
3. Redaman atau *damping* (%)
4. Kapasitas perpindahan horizontal atau *horizontal displacement capacity* (mm)
5. Kapasitas beban vertikal atau *vertical load capacity* (kN)

Level Kinerja Struktur

Dalam perencanaan sebuah bangunan, ada target tertentu yang harus dicapai, baik secara nonstruktural maupun struktural yang didasarkan pada *output* dari sebuah desain atau *performance-based design* (FEMA 356). Level kinerja struktur secara umum dibagi menjadi empat bagian yaitu *Operational*, *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention*.

Menurut *International Code Council Performance Code for Buildings and Facilities* (ICC PC), level kinerja struktur atau *performance-based design* adalah sebuah pendekatan elemen design pada sebuah bangunan untuk mendapatkan kekuatan desain rencana. *Performance-based design* membutuhkan analisis *engineer* dan pemahaman kuantitatif sesuai dengan tujuan menggunakan alat serta metodologi sesuai dengan kriteria rencana. Adapun diagram alir *performance-based design* yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.

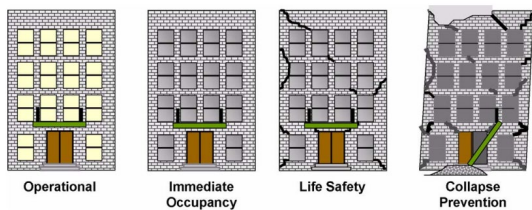


Gambar 2.4 Diagram Alir Performance-Based Design (Sumber: Hamburger, 2003)

Menurut Sayin, dkk. (2017), *Performance-Based Design* untuk gedung dapat ditentukan secara kualitatif dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Keselamatan pengguna gedung saat dan setelah terjadi gempa.
2. *Cost* dan kelayakan gedung serta pertimbangan untuk renovasi
3. Lama waktu gedung untuk perbaikan pasca terjadi gempa
4. *Economical*, Keindahan, dan nilai sejarah dalam sebuah gedung tersebut

Adapun gambaran *standard performance design* yang diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Standard Performance-Based Design (Sumber: FEMA 389)

Berdasarkan Gambar 2.5, terlihat bahwa gedung yang memiliki target *operational* memiliki kerusakan yang relatif ringan dibanding *collapse prevention*. *Standard performance-based design* menggambarkan target bangunan pasca terjadi gempa.

Pemilihan target ditentukan sesuai dengan waktu, biaya, dan faktor lain yang disepakati. Adapun rekomendasi target level kinerja struktur yang diperlihatkan Gambar 2.6.

	Building Performance Level			
	OL	IO	LS	CP
Frequent 72 years	▲			
Occasional 225 years	■	▲		
Rare 474 years	●	■	▲	
Very Rare 2475 years		●	■	▲

▲ Basic Objective
■ Essential Objective
● Safety Critical Objective

Gambar 2.6 Performance Design Objective (Sumber: FEMA 356)

Simpangan Antar Lantai

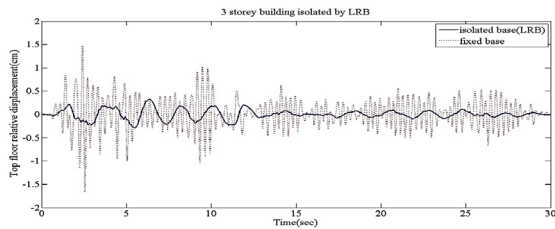
Dalam SNI 1726:2019 simpangan antar lantai merupakan perpindahan sumbu horizontal lantai atas yang ditinjau pada lantai dibawahnya. Menurut Hasan dan Astira (2013), bangunan tidak hanya dirancang untuk menahan gaya vertikal melainkan gaya horizontal. Menurut FEMA 356, Simpangan atau *drift* juga menjadi pedoman untuk mengetahui tingkat level kinerja struktur yang terjadi. Adapun simpangan yang terjadi sesuai dengan level kinerja struktur yang diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Simpangan Sesuai Dengan Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur	Simpangan Maksimum (Sementara) (%)	Simpangan Permanen (%)
Operational (O)	0,2	Tidak ada
Immediate Occupancy (IO)	0,5	Tidak ada
Life Safety (LS)	1,5	0,5
Collapse Prevention (CP)	2,5	2,5
Collapse	>2,5	>2,5

(Sumber: FEMA 356)

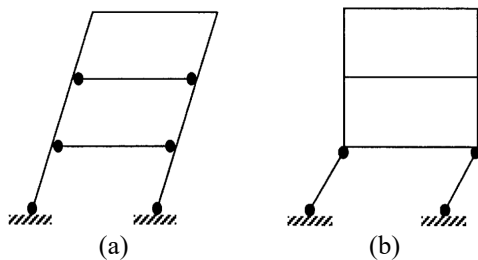
Gedung yang menggunakan isolator *rubber bearing* akan mengalami redaman *displacement* atau simpangan hal tersebut karena *rubber* akan meredam gaya gempa yang terjadi berupa redaman gaya lateral yang diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Redaman Displacement pada Gempa El Centro 1940 (Sumber: Tolani, 2016)

Sendi Plastis

Menurut SNI 2847:2019 daerah sendi plastis merupakan panjang elemen rangka yang diharapkan terjadi pelelehan lentur pertama akibat gaya gempa. Menurut Fischer dan Li (2003) saat tulangan mengalami pelelehan dan sendi plastis terbentuk pada batang *under-reinforced*, ketika kekuatan lentur telah tercapai. Ketika kekakuan lentur menurun drastis terbentuk defleksi inelastis. Secara khusus balok pada konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB) diharapkan mengalami deformasi inelastis dengan terbentuknya sendi plastis. Namun, kolom tetap dalam batas elastis sehingga mampu menahan beban vertikal dan mencegah terjadinya keruntuhan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 (a) Konfigurasi SCWB (b) Kegagalan Soft-Story (Sumber: Fischer dan Li, 2003)

Pada Gambar 2.8 (a) menggambarkan konsep SCWB dengan terbentuknya sendi plastis pada balok *under-reinforced*. Sedangkan Gambar 2.8 (b) menunjukkan sendi plastis pada kolom yang disebabkan deformasi inelastis. Dengan terbentuknya sendi plastis pada balok akan terjadi penyerapan energi (Fischer dan Li, 2003). Adapun penjelasan warna sendi plastis

pada SAP 2000 yang diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penjelasan Warna Sendi Plastis Pada SAP2000

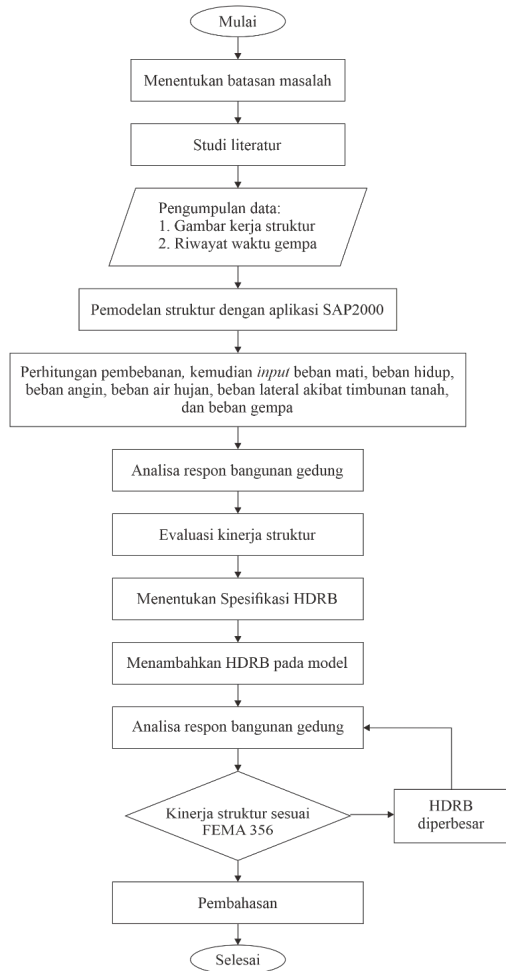
Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Batas linear berupa pelelehan pertama pada struktur bangunan.
IO	●	Terjadinya kerusakan kecil pada struktur, struktru memiliki kekakuan yang sama.
LS	●	Terjadinya kerusakan kecil ke sedang, kekakuan struktur berkurang tetapi masih kuat terhadap gempa.
CP	●	Terjadinya kerusakan yang parah pada struktur, kekakuan struktur berkurang secara drastis.
C	●	Batas gaya geser masih mampu ditahan gedung.
D	●	Kekuatan struktur mengalami degradasi besar, struktur tidak stabil dan hampir collapse.
E	●	Struktur tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

(Sumber: CSI, 2013)

METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dari pengumpulan data-data terkait yang digunakan untuk analisis dalam penelitian ini. Gedung yang digunakan sebagai studi kasus merupakan Proyek Pembangunan Gedung X di Kota Semarang. Adapun data yang diperlukan untuk analisis diantaranya gambar kerja, data gempa, dan spesifikasi teknis HDRB yang mengacu pada buku katalog produksi *Bridgestone*. Setelah data-data terkumpul, dapat dilakukan pemodelan struktur gedung dengan bantuan aplikasi SAP2000 v20.2.0. Setelah selesainya pemodelan struktur, langkah selanjutnya melakukan *input* beban sesuai dengan SNI 1727:2020 untuk beban layan dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa. Tahapan selanjutnya adalah melakukan *running analysis* dengan *software* SAP2000 versi 20.2.0. Hasil dari analisis berupa simpangan pada bagian tertinggi struktur atau atap yang dapat digunakan untuk menentukan level kinerja sebuah bangunan yang berdasarkan FEMA 356. Langkah berikutnya, pemodelan HDRB berdasarkan beban vertikal kolom dan spesifikasi teknis yang sudah ditentukan. Dengan demikian, maka dapat dilakukan *running analysis* ulang dan mencatat simpangan tertinggi dalam bangunan tersebut serta redaman *period* bangunan untuk masing-masing jenis HRDB. Simpangan atau *displacement* struktur gedung yang

menggunakan HDRB akan dianalisis level kinerja strukturnya. Setelah data-data terkumpul, maka pembahasan dapat dijabarkan melalui laporan penelitian ini. Diagram alir penelitian dapat diperlihatkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan Simpangan

Besar simpangan yang dialami sebuah gedung akan juga mempengaruhi tingkat level kinerja struktur yang dialami sebuah gedung ketika terjadi gempa. Adapun simpangan yang dialami Gedung X yang diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Displacement* Gedung X Tanpa HDRB

Lantai	Joint	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	489	-80,777263	-17,658108	-1,232208
2	689	-137,306011	-37,12555	-0,738786
3	885	-196,37983	-51,395807	-3,110617
4	1177	-254,968512	-58,614344	-9,289868
5	1305	-304,929392	-66,349108	-9,07765
Auditorium	1412	-349,455323	-69,003213	-12,606328
6	1590	-382,527176	-61,430261	-23,668916
Roof	1650	-433,329637	-86,586488	-7,184143

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai simpangan terbesar terjadi pada sumbu arah X dengan nilai arah negatif, sehingga pada gedung X tinjauan simpangan hanya dilakukan pada arah X. Menurut SNI 1726:2019, simpangan izin antar tingkat adalah $0,010 h_x$. Berdasarkan rumus tersebut didapatkan nilai simpangan izin antar tingkat adalah 42 mm dengan simpangan maksimal gedung adalah 336 mm atau 0,336 m.

Penggunaan *High Damping Rubber Bearing* diharapkan dapat memperkecil simpangan yang terjadi. Adapun simpangan yang dialami Gedung X dengan *base isolator* HDRB diperlihatkan pada Tabel 4.2.

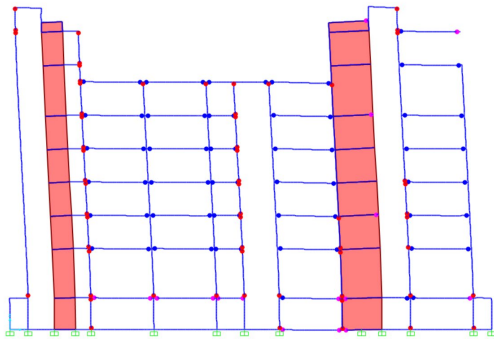
Tabel 4.2 *Displacement* Gedung X Dengan HDRB

Lantai	Joint	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	489	-35,0949	-3,95597	-0,76738
2	689	-42,0331	-9,45326	-0,2459
3	885	-63,475	-11,3907	-1,05733
4	1177	-90,2217	-12,1196	-4,9246
5	1305	-116,887	-13,7346	-4,54314
Auditorium	1412	-146,807	-14,8831	-6,81616
6	1590	-159,237	-14,6067	-12,5733
Roof	1650	-181,75	-17,6871	-3,09164

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai simpangan terbesar terjadi pada sumbu arah X dengan nilai arah negatif, sehingga pada gedung X tinjauan simpangan hanya dilakukan pada arah X. Berdasarkan SNI 1726:2019, simpangan izin yang sebelumnya telah diperhitungkan sebelumnya sebesar 336 mm atau 0,336 m. Gedung X dengan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing* memenuhi persyaratan simpangan sesuai dengan standar SNI 1726:2019.

Berdasarkan Sendi Plastis

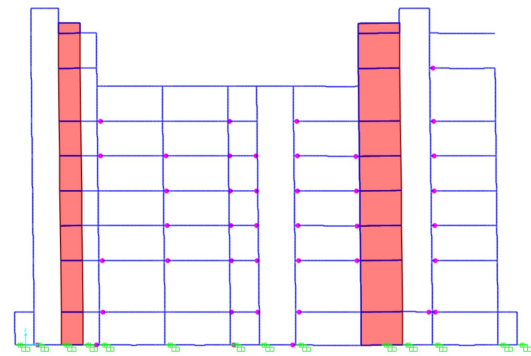
Gedung yang telah dimodelkan akan dilakukan analisis pasca gempa dengan memberikan simulasi gempa berdasarkan grafik *time history* yang telah ditentukan. Dengan menunjukkan skema sendi plastis, dapat diketahui secara sekilas fase level kinerja struktur yang dialami oleh Gedung X. Adapun skema sendi plastis yang diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema Sendi Plastis Sumbu Y

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat terlihat bahwa warna merah merupakan warna yang paling dominan. Sehingga struktur bangunan berada di fase *near collapse* atau fase setelah *collapse prevention*.

Gedung yang telah dimodelkan dengan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing* akan dilakukan analisis pasca gempa dengan memberikan simulasi gempa berdasarkan grafik *time history* yang telah ditentukan. Dengan menunjukkan skema sendi plastis, dapat diketahui secara sekilas fase level kinerja struktur yang dialami oleh Gedung X yang telah diberikan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing*. Skema sendi plastis diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Sendi Plastis Sumbu Y Dengan HDRB

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat terlihat bahwa warna ungu merupakan warna yang paling dominan. Sehingga struktur bangunan berada di fase *operational*.

Berdasarkan *performance point*

Perhitungan *performance point* arah X maupun arah Y didapatkan nilai *drift* sesuai dengan analisis *non-linear* yang diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Level Kinerja Struktur Gedung X Tanpa HDRB

Arah	Drift (%)	Building Performance Level
X	1,7786	Life Safety
Y	1,6984	Life Safety

Berdasarkan Tabel 4.3, didapatkan bahwa struktur Gedung X melampaui target perpindahan struktur atau level kinerja struktur *Life Safety* (LS) sesuai dengan standar FEMA 356 yang berlaku. Dengan penambahan HDRB, *performance point* bangunan dapat diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Level Kinerja Struktur Gedung X Dengan HDRB

Arah	Drift (%)	Building Performance Level
X	0,46169	Operational
Y	0,48191	Operational

Berdasarkan Tabel 4.4, didapatkan bahwa struktur Gedung X dengan menggunakan *High Damping Rubber Bearing* mendapatkan target

perpindahan struktur atau level kinerja struktur *Operational* (O) sesuai dengan standar FEMA 356 yang berlaku.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Respon *Displacement* atau simpangan pada bangunan dengan *base isolator* berupa HDRB lebih kecil dibandingkan struktur konvensional yang diterapkan pada Gedung X. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan bahwa gedung yang menggunakan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing* mampu mereduksi *displacement* arah X sebesar 61,790 %, arah Y sebesar 77,853 %, dan arah Z sebesar 52,146 %.
2. Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan simulasi *time history* Sumatra Tahun 2007 dengan skala 8,4 M_w. Gempa *time history* Sumatra berlangsung selama 129 detik. Struktur gedung yang menggunakan *base isolator* berupa *High Damping Rubber Bearing* mampu meredam simpangan yang terjadi dengan redaman rata-rata 49,216 %. Selain itu, terlihat bahwa penggunaan *High Damping Rubber Bearing* dapat menstabilkan *displacement* lebih baik daripada penggunaan jepit konvensional.
3. Pengecekan level kinerja struktur dilakukan berdasarkan nilai *performance point* yang telah diatur dalam standar FEMA 356. Adapun perbandingan fase level kinerja struktur yang diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perbandingan Level Kinerja Struktur Gedung X

Tanpa HDRB		
Arah	Drift (%)	Building Performance Level
X	1,7786	Life Safety
Y	1,6984	Life Safety
Dengan HDRB		
Arah	Drift (%)	Building Performance Level
X	0,46169	Operational
Y	0,48191	Operational

Berdasarkan Tabel 5.3, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *High Damping Rubber Bearing* mampu menaikkan fase level kinerja struktur bangunan dari *life safety* (LS) ke *operational* (O) baik pada analisis *non-linear* arah X maupun arah Y.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2022): Gempa bumi diperoleh dari situs internet: <https://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019): Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan SNI 2847-2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019): Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bridgestone. (2017): *Seismic isolation product line-up*. Tokyo: Bridgestone Corporation, 1.
- CSI, 2013. *Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE, CsiBridge*. Berkeley: California, USA.
- Doshin Rubber Engineering. (2017): *Seismic isolation base isolators design according to BS EN 15129*. Malaysia: Doshin Rubber, 3-5.
- FEMA. (2000): *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building*

- (FEMA 356). Washington, D. C.: Federal Emergency Management Agency.
- FEMA. (2004): *Risk Management Series Primer for Design Professionals, Communicating with Owners and Managers of New Buildings on Earthquake Risk (FEMA 389)*. Washington, D. C.: Federal Emergency Management Agency.
- Fischer, G. dan Li, V. C. (2003): Intrinsic response control of moment-resisting frames utilizing advanced composite materials and structural elements. *ACI Structural Journal* March-April 166, 176.
- Gabriel, G. (2022): Perbandingan pengaruh High Damping Rubber Bearing dan Lead Rubber Bearing terhadap kinerja struktur. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(2), 158-166.
- Hamburger, R. O. (2003): A vision of the ATC-58 project, development of performance-based seismic guidelines, *Proceedings of the Programming Workshop on Performance-Based Design*, 54.
- Hasan, A. dan Astira, I. F. (2013): Analisis perbandingan simpangan lateral bangunan tinggi dengan variasi bentuk dan posisi dinding geser studi kasus proyek apartemen the royale springhill residences. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vol. 1, No. 1, Desember 2013, ISSN: 2355-374X, 47-48.
- International Code Council, Inc. (ICC). (2009): *Performance Code for Buildings and Facilities*. Country Club Hills, IL.
- Kelly, J. M. dan Konstantinidis, D. A. (2011): *Mechanics of rubber bearings of seismic and vibration isolation*. Inggris: John Wiley & Sons, Inc, 1-15.
- Kementerian ESDM. Pengenalan gempa bumi diperoleh dari situs internet: https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Pengenalan_Gempa_Bumi.pdf, 1-3.
- Sayin, B., Yildizlar, B., Akcay, C., Bozkurt, T. S., (2008): General perspectives on seismic retrofitting of historical masonry structures, *Failure Analysis and Prevention INTECH*, intechopen.69439, 123.
- Tolani, S., Sharma, A. (2016): Effectiveness of base isolation technique and influence of isolator characteristic of response of a base isolated building. *American Journal of Engineering Research (AJER)* volume 5 issue 5 e-ISSN: 2320-0847, 205, 208-209.