STUDI ANALISIS PERILAKU STRUKTUR MENGGUNAKAN *DAMPER* DAN *BASE ISOLATOR* PADA GEDUNG ASRAMA PONDOK TSURAYYA *ISLAMIC SCHOOL*

Aditya Zaen Putra Pamungkas[1*], Ester Priskasari[1], dan Mohammad Erfan[1]

Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

ABSTRACT

As a region with high seismic activity, Indonesia requires advanced seismic protection systems in building structures to ensure safety and minimize structural damage. This study aims to analyze and compare the structural behavior performance of a steel building at the Tsurayya Islamic School Dormitory in Malang Regency using two different seismic protection systems: Fluid Viscous Dampers (FVD) and High Damping Rubber Bearings (HDRB). The methodology involves three-dimensional modeling and Nonlinear Time History analysis using ETABS software, with seismic resistance parameter calibrations referencing the SNI 1726:2019 standard. Structural performance evaluations are assessed based on interstory drift, base shear, P-Delta effects, and natural vibration periods. The analysis results indicate that the application of FVD is effective in absorbing earthquake energy, reducing the average lateral drift by 7.268% in the X-direction and 18.054% in the Y-direction, while maintaining stability against P-Delta effects. On the other hand, the utilization of HDRB significantly extends the natural vibration period of the structure from 1.70 seconds to 5.028 seconds. This period elongation makes the superstructure more flexible, thereby reducing the lateral roof drift more significantly by up to 29.60% in the X-direction and 26.92% in the Y-direction due to the concentration of deformation within the isolation layer. In conclusion, both systems successfully enhance the building's seismic performance significantly, with HDRB offering higher effectiveness in extending the structural period, whereas FVD excels in reducing structural responses without drastically altering the fundamental dynamic characteristics of the building.

Keywords: *Fluid Viscous Damper, Base Isolator, Nonlinear Time History, Structural Performance*.

ABSTRAK

Sebagai wilayah dengan aktivitas kegempaan tinggi, Indonesia memerlukan sistem peredam seismik yang andal pada struktur bangunan demi menjaga keselamatan jiwa dan meminimalkan kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja perilaku struktur baja pada Gedung Asrama Pondok Tsurayya Islamic School Kabupaten Malang menggunakan dua sistem proteksi gempa yang berbeda, yaitu *Fluid Viscous Damper* (FVD) dan *Base Isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Metode perencanaan dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi dan analisis dinamik *Nonlinear Time History* menggunakan perangkat lunak ETABS yang mengacu pada standar SNI 1726:2019. Evaluasi kinerja ditinjau berdasarkan parameter simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, efek P-Delta, serta periode getar alami struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan FVD efektif menyerap energi gempa dan mereduksi simpangan lateral rata-rata sebesar 7,268% (arah X) dan 18,054% (arah Y). Di sisi lain, penggunaan *Base Isolator* berhasil memperpanjang periode getar alami struktur secara signifikan dari 1,70 detik menjadi 5,028 detik. Perpanjangan periode ini membuat bangunan atas menjadi lebih fleksibel sehingga mampu mereduksi simpangan lateral di atap secara lebih masif hingga mencapai 29,60% (arah X) dan 26,92% (arah Y) akibat konsentrasi deformasi pada lapisan isolator. Kesimpulannya, kedua sistem terbukti mampu meningkatkan kinerja seismik bangunan secara signifikan, di mana *Base Isolator* memberikan efektivitas lebih tinggi dalam memperpanjang periode getar struktur, sedangkan FVD unggul dalam mereduksi respons struktural tanpa mengubah karakteristik dinamik dasar bangunan secara ekstrem.

Kata kunci: *Fluid Viscous Damper*, *High Damping Rubber Bearing*, Analisis Riwayat Waktu Nonlinear, Performa Struktur.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama sehingga memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan akibat gempa. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja struktur terhadap beban gempa adalah dengan menerapkan sistem pengendali respons, seperti *Fluid Viscous Damper* (FVD) dan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Penerapan *base isolator* terbukti mampu meningkatkan kinerja seismik struktur, terutama dalam mengendalikan simpangan antar

tingkat dan respon dinamik bangunan dibandingkan dengan struktur konvensional. Penerapan FVD efektif dalam nereduksi respons dinamik struktur, simpangan antar lantai, serta momen lentur pada balok. Dengan demikian secara keseluruhan FVD efektif dalam meningkatkan kinerja struktur dengan mengoptimalkan distribusi gaya dalam dan mengurangi deformasi struktur. FVD bekerja dengan mendisipasikan energi gempa melalui mekanisme redaman viskos (Tanaem, 2025), sedangkan HDRB mengisolasi struktur dari gerakan tanah dengan memperpanjang periode alami struktur dan meningkatkan redaman. Ketika nilai periode alami struktur diperpanjang, nilai percepatan yang masuk ke dalam struktur menjadi lebih kecil (Gunawan, 2022) Evaluasi efektivitas kedua sistem tersebut memerlukan analisis yang mampu merepresentasikan perilaku struktur secara realistis, salah satunya melalui *Nonlinear Time History Analysis* (NLTHA) sesuai SNI 1726:2019. Meskipun berbagai penelitian telah membahas penggunaan FVD maupun HDRB secara terpisah, kajian yang membandingkan kinerja kedua sistem pada model struktur yang sama dengan analisis NLTHA masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan membandingkan pengaruh penggunaan FVD dan HDRB terhadap respons struktur, yang ditinjau berdasarkan periode alami, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar lantai (*inter-story drift*), serta efek P-Delta, sehingga dapat diketahui sistem pengendali gempa yang memberikan kinerja paling efektif

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Struktur Gedung

Dalam penelitian ini struktur bangunan dirancang menggunakan perangkat lunak ETABS V22.0.7 dengan metode statik dan dinamik. Deskripsi model studi adalah Gedung Pondok Asrama dengan tinggi 4 meter pada lantai 1 dan tinggi 3.5 meter untuk lantai 2-6. Bentang kolom terpanjang yaitu 8 meter dan berlokasi di Kabupaten Dau Provinsi Jawa Timur.Studi ini menganalisis performa dari 3 variasi bangunan, yaitu bangunan pada kondisi eksisting, bangunana dengan penggunaan damper tipe *Fluid Viscous Damper* (FVD) dan bangunan dengan base isolator tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).

Desain Bangunan yang Dianalisis

Struktur bangunan menggunakan baja dengan mutu baja ASTM A376 yang memiliki tegangan leleh (Fy) sebesar 245 Mpa dan Tegangan Putus (Fu) sebesar 450 Mpa dangan modulus elastisitas 200000 Mpa. Standar yang digunakan sebagai ketentuan dalam melakukan desain adalah SNI 1726:2019, SNI 1729:2020,8896 1727:2020, SNI 8899:2020, ASCE 7-22, ASCE 41-23, AISC 360-22, FEMA 356, PEER Ground Motion Database, Taylor Devices dan Bridgestone.

Respons Spektrum Gempa

Respons Spektrum digunakan dalam analisis statik dan linear. Data respons ini diperlukan sebagai target spektra dalam proses spectral matching. Berikut data respons sepktrum pada daerah Gedung Pondok Asrama Tsurayya *Islamic School.*

Table 1. Data Respons Spektrum Target

Informasi	Nilai
Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan Gempa (Ie)	1
Kelas Situs Tanah	SE
Parameter Percepatan Periode Pendek (Ss)	0.873
Parameter Percepatan Periode 1 Detik (S_1)	0.407
Faktor Amplikasi Periode Pendek (Fa)	1.202
Faktor Amplikasi Periode 1 Detik (Fv)	2.386
Percepatan pada Periode Pendek (S_{MS})	1.049
Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{M1})	0.971
Percepatan Desain pada Periode 1 Detik (SDS)	0.699
Percepatan Desain pada Periode Pendek (SD1)	0.647
Kategori Desain Seismik (KDS)	D

3. METODELOGI PENELITIAN

Analisis Statis dan Dinamik Linear

Sebelum melakukan analisis *Nonlinier Time History*, pemodelan harus melalui analisis statis dan dinamik linier terlebih dahulu(Faisal Nurhidayatullah & Ardiyanto, 2025). Hasil dari kedua analisis tersebut berfungsi sebagai parameter kontrol untuk memastikan kesesuaian perilaku awal struktur bangunan.

Pemilihan *Groud Motion*

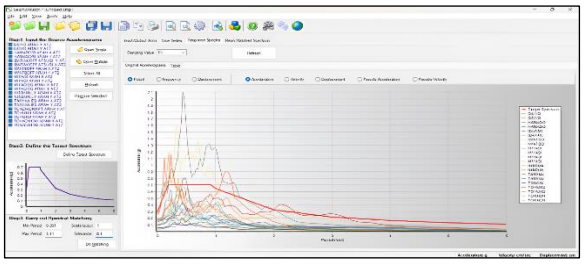
Pemilihan rekaman gempa (*ground motion*) yang dipilih harus berasal dari wilayah dengan kondisi tektonik yang sama, serta memiliki nilai magnitudo dan jarak patahan yang serupa. Keselarasan parameter ini sangat penting karena ketiga faktor tersebut menentukan target spektrum respons, sehingga bentuk gelombang gempa yang digunakan dapat mendekati karakteristik target spektrum rencana. Peta deaggregasi dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan seleksi *ground motion* berdasarkan waktu getar alami struktur bangunan dan kala ulang gempa. Hasil analisis deagregasi digunakan sebagai acuan dalam memilih ground motion dari database *PEER Berkeley*. Analisis tahap akhir didapatkan11 rekaman data gempa yang akan digunakan untuk analisis riwayat waktu non-linier (NLTHA) yang ditunjukkan pada Tabel 2

Table 2. Data Rekaman Gempa yang Digunakan

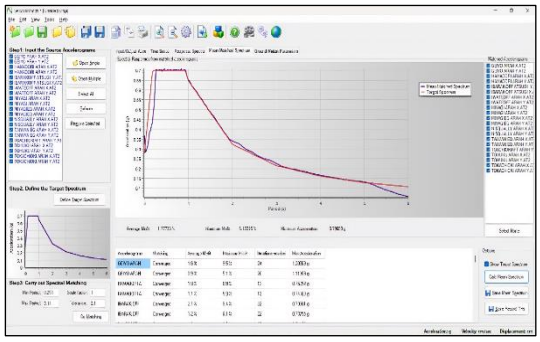
Sumber	Riwayat	Magnitudo
Shallow Crustal	Hamadori (2011)	6.6
Benioff	Geiyo (2001)	6.7
	Nisqually (2001)	6.8
Megathrust	Ibarakioff (2011)	7.7
	Iwateoff (2011)	9.0
	Miyagi-Oki (2005)	7.2
	Miyaqi Aftershock (2011)	7.1
	Taiwan EQ (2002)	7.1
	Tohuku (2011)	9.0
	Tokachioki (2003)	8.3
	Tokachioki Aftershock (2003)	7.4

Spectral Matching

Respons spektrum *ground motion* gempa asli menunjukkan nilai percepatan gempa yang cenderung sangat berbeda dibandingkan dengan target spektra (Faisal Nurhidayatullah & Ardiyanto, 2025). Setiap pasangan rekaman gerakan tanah harus melalui proses penyesuaian spektral sehingga rata-rata spektrum respons pada arah maksimum mencapai sekurang-kurangnya 110% dari spektrum respons target dalam rentang periode yang ditetapkan. Apabila analisis mempertimbangkan pengaruh komponen vertikal gempa, maka rekaman vertikal juga harus disesuaikan terhadap spektrum respons vertikal target agar rata-rata spektrum hasil penyesuaian tidak berada di bawah spektrum target pada rentang periode yang ditentukan.(SNI 1726:2019)

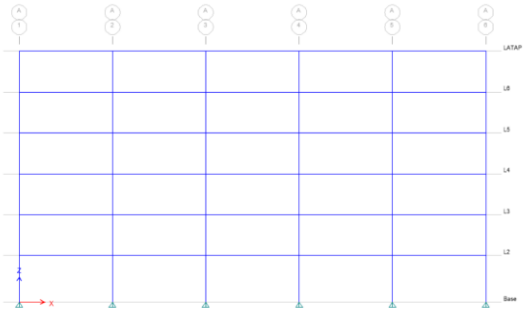


Gambar 1. Respons Spektra sebelum *Matching*

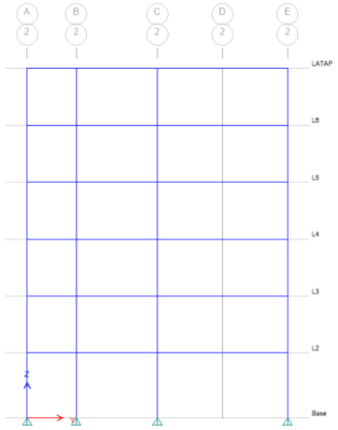


Gambar 2. Respons Spektra setelah *Matching*

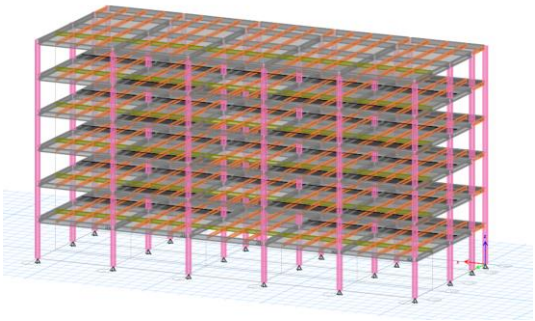
Setelah proses *spectral matching* dilakukan percepatan masing-masing *ground motion* menyesuaikan terhadap spektra target dengan nilai rata-rata error diperoleh 1.78% dan nilai *maximal error* 6.51% yang menunjukkan bahwa spektrum respons hasil penyesuaian memiliki tingkat kesesuaian yang sangat baik terhadap respons target. Selain itu pada gambar 1. Menunjukkan kurva mean *matched spectrum* memiliki kesesuaian dengan target spektrum respons, sehingga rekaman hasil *spectral matching* dapat digunakan untuk analysis *Non-linier Time History*.



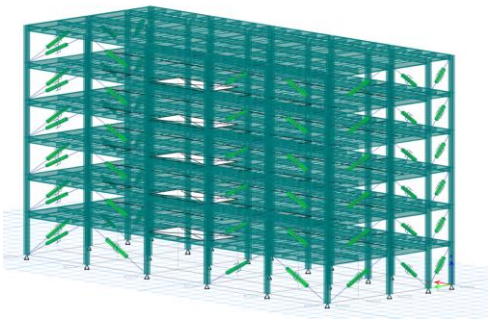
Gambar 3. Potongan Memanjang Eksisting



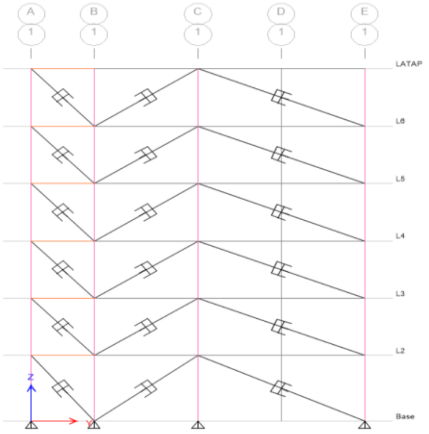
Gambar 4. Potongan Melintang Kondisi Eksisting



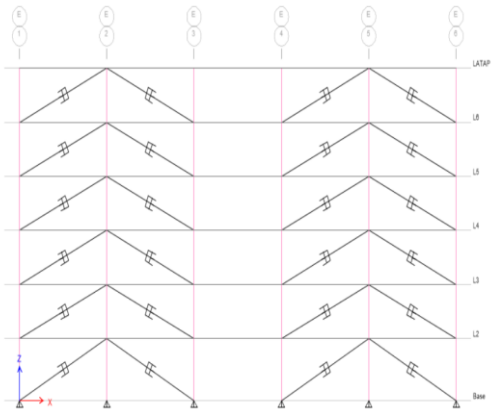
Gambar 5. Tampak 3d Bangunan Eksisting



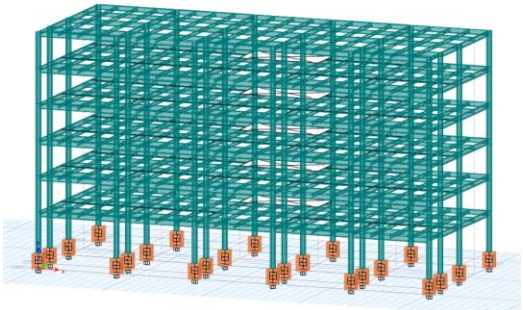
Gambar 6. Tampak 3d Setelah Pemasangan FVD



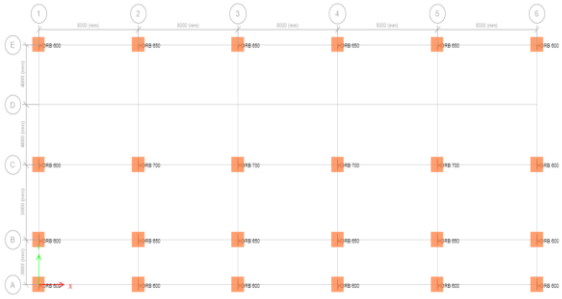
Gambar 7. Tampak Melintang Setelah Pemasangan FVD



Gambar 8. Tampak Memanjang Setelah Pemasangan FVD



Gambar 9. Tampak 3d Setelah Pemasangan HDRB

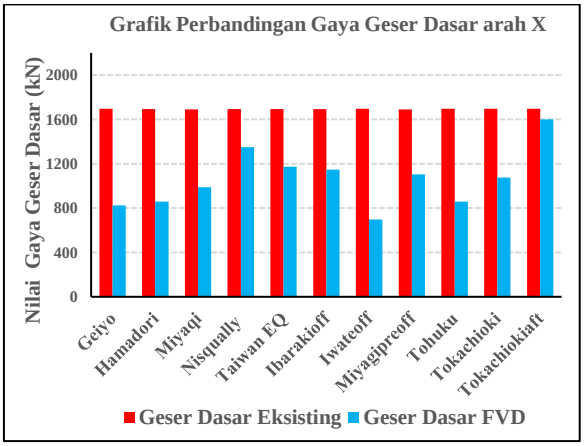


Gambar 10. Denah Pemasangan HDRB

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

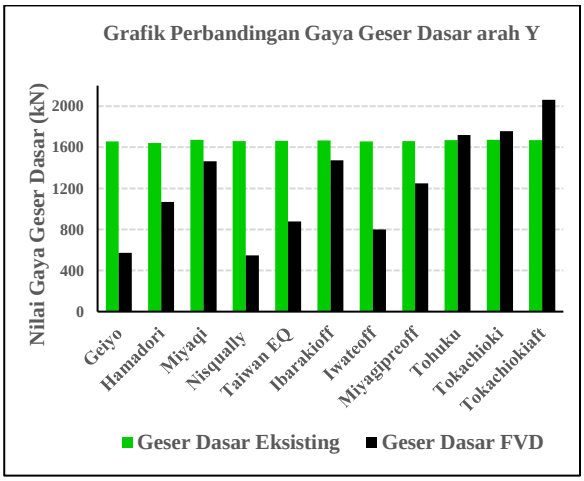
Analisis Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan parameter krusial dalam perencanaan struktur tahan gempa yang merepresentasikan akumulasi total gaya lateral akibat beban dinamik seismik yang bekerja pada dasar bangunan. Besar kecilnya gaya geser dasar ini sangat dipengaruhi oleh massa total struktur, percepatan tanah di lokasi proyek, serta karakteristik fleksibilitas atau periode getar alami dari bangunan itu sendiri.



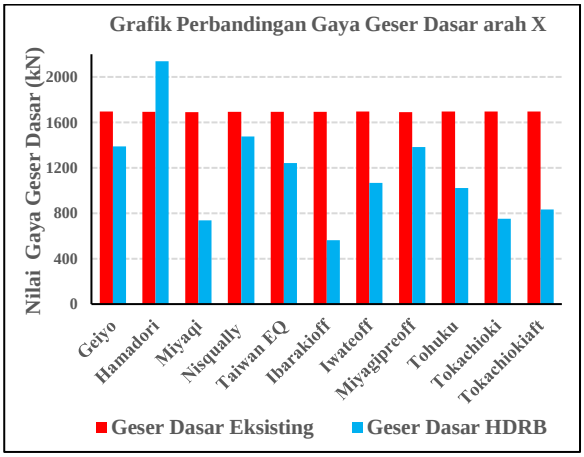
Gambar 11. Perbandingan Gaya Geser Dasar Time History FVD

Gambar 11. Menunjukan perbandingan gaya geser dasar arah X antara struktur eksisting dan struktur yang menggunakan Fluid Viscous Damper (FVD) Berdasarkan analisis *Non-linier Time History*. Pemasangan FVD mampu menurunkan gaya geser pada seluruh rekana gempa yang digunakan dan suskes meredam respon dinamis struktur, sehingga gaya yang diteruskan ke struktur atas menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting.



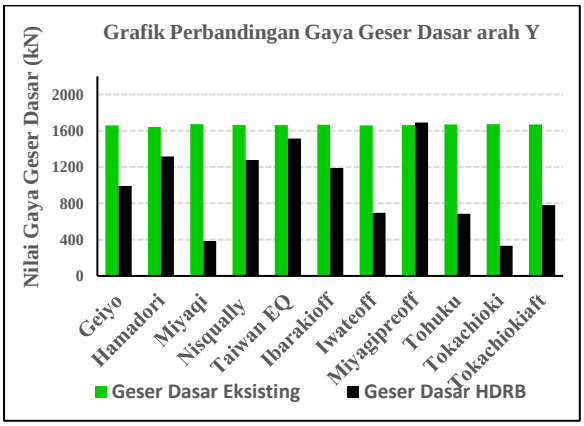
Gambar 12. Perbandingan Gaya Geser Dasar Time History FVD

Gambar 12. Menunjukan perbandingan gaya geser dasar arah Y dimana Pemasangan FVD mampu menurunkan gaya geser yang terjadi, namun terdapat beberapa rekaman gempa yang mengalami kenaikan. Hal ini juga menunjukkan bahwa efektifitas FVD deipengaruhi oleh karakteristik rekaman gempa.



Gambar 13. Perbandingan Gaya Geser Dasar Time History HDRB

Gambar 13. menunjukkan perbandingan gaya geser dasar pada arah X antara struktur eksisting dan struktur yang menggunakan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) berdasarkan analisis *Nonlinear Time History*. Dari grafik tersebut, penggunaan HDRB dapat menurunkan gaya geser dasar pada bangunana. Namun, pada rekaman gempa Hamadori nilai gaya geser dasar setelah pemasangan HDRB mengalami peningkatan dibandingkan kondisi eksisting.



Gambar 14. Perbandingan Gaya Geser Dasar Time History HDRB

Gambar 14. menunjukkan perbandingan gaya geser dasar pada arah Y antara struktur eksisting dan struktur yang menggunakan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) berdasarkan analisis *Nonlinear Time History*. Dari grafik tersebut, penggunaan HDRB dapat menurunkan gaya geser dasar pada bangunana. Namun pada rekaman gempa Hamadori terjadi peningkatan gaya geser dasar dibandingkan struktur eksisting. Hal ini dapat diterima karena respons struktur pada analisis *Nonlinear Time History* dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing rekaman gempa, seperti kandungan frekuensi, durasi, magnitudo, dan jarak sumber gempa. Perbedaan karakteristik tersebut menyebabkan setiap rekaman dapat menghasilkan respons yang berbeda terhadap strukur.

Berdasarkan hasil analisis, baik *Fluid Viscous Damper* (FVD) maupun *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) mampu meningkatkan performa struktur dalam menghadapi beban gempa melalui penurunan gaya geser dasar pada sebagian besar rekaman gempa yang dianalisis. Walaupun terdapat beberapa rekaman yang menunjukkan peningkatan gaya geser dasar akibat variasi karakteristik gerakan tanah (*record-to-record variability*), kecenderungan hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa kedua sistem tersebut efektif dalam mereduksi respons seismik struktur.

Analisis Partisipasi Massa

Partisipasi massa rasio merupakan persentase massa struktur yang berkontribusi terhadap respons dinamik pada setiap mode getar. Semakin besar nilai partisipasi massa kumulatif, semakin baik mode getar yang digunakan dalam merepresentasikan perilaku struktur akibat beban gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019, jumlah mode yang digunakan harus menghasilkan partisipasi massa kumulatif paling sedikit 90% pada masing-masing arah utama analisis, sehingga respons dinamik struktur dapat dianggap telah terwakili dengan baik

Table 3. Partisipasi Massa Rasio

Case	Mode	Eksisting			FVD			HDRB		
		Per. sec	Sum X	Sum Y	Per. sec	Sum X	Sum Y	Per. sec	Sum X	Sum Y
Modal	1	2.56	0.0%	95.8%	0.64	76.6%	0.0%	3.48	0.0%	97.9%
Modal	2	2.15	15.4%	95.9%	0.54	76.7%	83.1%	3.19	45.0%	98.0%
Modal	**3**	**1.84**	**94.0%**	**95.9%**	0.31	84.6%	83.1%	**2.95**	**98.8%**	**98.0%**
Modal	4	0.73	94.0%	99.3%	0.21	95.9%	83.1%	0.84	98.8%	99.4%
Modal	5	0.61	94.8%	99.3%	**0.17**	**95.9%**	**96.4%**	0.72	99.1%	99.4%
Modal	6	0.53	98.6%	99.3%	0.12	98.5%	96.4%	0.65	99.8%	99.4%
Modal	7	0.38	98.6%	99.8%	0.10	98.9%	96.4%	0.43	99.8%	99.7%
Modal	8	0.32	98.8%	99.8%	0.10	98.9%	99.0%	0.37	99.8%	99.7%
Modal	9	0.27	99.6%	99.8%	0.09	99.6%	99.0%	0.32	99.9%	99.7%
Modal	10	0.25	99.6%	99.9%	0.07	99.6%	99.8%	0.29	99.9%	99.9%
Modal	11	0.21	99.6%	99.9%	0.07	99.8%	99.8%	0.26	99.9%	99.9%
Modal	12	0.19	99.6%	100.0%	0.06	99.9%	99.8%	0.26	99.9%	99.9%

Berdasarkan Tabel 3. baik kondisi Eksisting, Fluid Viscous Damper maupun struktur yang telah dipasang Base Isolator telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019, yaitu rasio partisipasi massa kumulatif minimal 90% pada arah X dan arah Y. Untuk Kondisi Eksisting tercapai pada mode ke-3, sedangkan untuk bangunan dengan FVD tercapai pada mode ke-5 dan untuk bangunan dengan HDRB Partisipasi massa 90% tercapai pada mode ke-3.

Analisis Peridoe Getar dan Frekuensi Alami

Periode atau waktu getar struktur merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran.

Table 4. Kompilasi Periode dan Frekuensi Alami Struktur

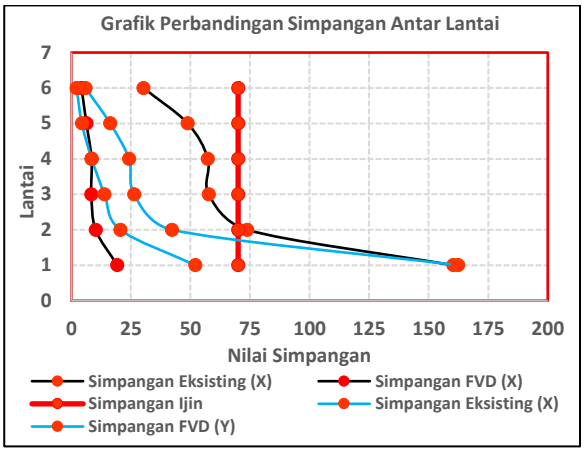
Case	Mode	Eksisting		FVD		HDRB	
		Per. sec	Freq. cyc/sec	Per. sec	Freq. cyc/sec	Per. sec	Freq. cyc/sec
Modal	1	2.555	0.391	0.638	1.567	3.48	0.287
Modal	2	2.151	0.465	0.538	1.859	3.194	0.313
Modal	3	1.837	0.544	0.314	3.188	2.948	0.339
Modal	4	0.728	1.373	0.213	4.7	0.835	1.198
Modal	5	0.612	1.633	0.172	5.819	0.722	1.384
Modal	6	0.526	1.901	0.118	8.451	0.647	1.546
Modal	7	0.384	2.606	0.102	9.784	0.426	2.345
Modal	8	0.32	3.125	0.096	10.383	0.366	2.734
Modal	9	0.271	3.689	0.085	11.766	0.322	3.108
Modal	10	0.251	3.988	0.07	14.213	0.289	3.464
Modal	11	0.206	4.85	0.068	14.734	0.264	3.783
Modal	12	0.185	5.411	0.059	16.884	0.261	3.83

Berdasarkan hasil analisis modal, struktur eksisting memiliki periode alami sebesar 0,185 detik dengan frekuensi 5,411 Hz. Setelah pemasangan High Damping Rubber Bearing (HDRB), periode meningkat menjadi 0,261 detik, sedangkan frekuensi menurun menjadi 3,830 Hz. Peningkatan periode dan penurunan frekuensi tersebut menunjukkan bahwa HDRB mampu mengurangi kekakuan horizontal sistem sehingga struktur menjadi lebih fleksibel. Kondisi ini sesuai dengan prinsip kerja sistem isolasi dasar yang bertujuan memperpanjang periode getar struktur agar respons seismik dan gaya inersia yang diteruskan ke struktur atas menjadi lebih kecil.

Sebaliknya, setelah pemasangan Fluid Viscous Damper (FVD), periode struktur menurun menjadi 0,059 detik dengan frekuensi meningkat menjadi 16,884 Hz. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem FVD pada model penelitian memberikan peningkatan redaman dan, dalam konfigurasi pemodelan yang digunakan, menghasilkan respons dinamis dengan periode yang lebih pendek. Berbeda dengan HDRB yang bekerja dengan sistem isolasi dasar, FVD mengurangi respons struktur terutama melalui disipasi energi akibat gaya redaman viskos. Oleh karena itu, meskipun mekanisme kerjanya berbeda, baik HDRB maupun FVD mampu meningkatkan kinerja seismik struktur.

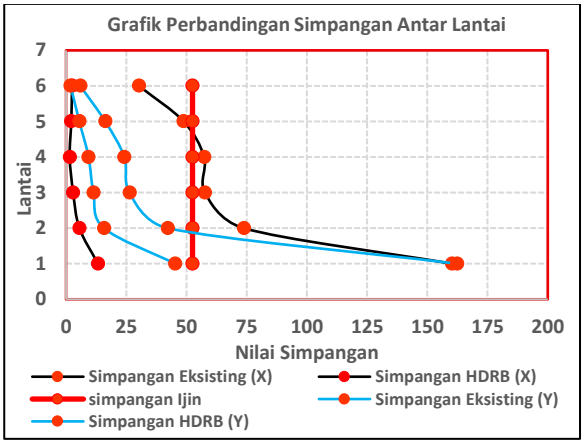
Analisis Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan hasil analisis terhadap 11 rekaman gempa, diperoleh bahwa nilai simpangan antar lantai (*interstory displacement*) pada arah X maupun arah Y seluruhnya telah memenuhi batas yang disyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat deformasi yang masih berada dalam batas aman sesuai dengan nilai batasan ijin. Terpenuhinya persyaratan tersebut menunjukan bahwa pemasangan *Fluid Viscous Damper* (FVD) mampu meningkatkan kemampuan struktur dalam mengendalikan respons akibat beban gempa. Mekanisme kerja FVD yang mendisipasikan energi melalui gaya redaman menyebabkan energi gempa yang diteruskan ke struktur menjadi lebih kecil, sehingga perpindahan relatif antar lantai dapat dikurangi secara signifikan. Berikut ditampilkan salah satu data rekaman gempa yang digunakan dalam analisis Non-liner *time history*



Gambar 15. Perbandingan Simpangan pada lantai atap TH Ibarakioff

Setelah dipasang FVD, seluruh nilai simpangan pada arah X dan arah Y berada di bawah batas izin 70 mm, sehingga semua lantai telah memenuhi persyaratan. Selain itu, nilai reduksi perpindahan mencapai 86.3% pada arah X dan 61.3% pada arah Y.



Gambar 16. Perbandingan Simpangan Antar Lantai TH Ibarakioff

Pemasangan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) terbukti sangat efektif dalam mereduksi perpindahan antar lantai pada struktur bangunan, dengan tingkat penurunan rata-rata mencapai 78.4% pada arah X dan 80.5% pada arah Y. Pengurangan perpindahan paling besar terjadi pada Lantai 2 (L2), dimana menembus angka 89.6% (X) dan 90.5% (Y), yang menunjukkan bahwa HDRB berfungsi sebagai pelindung utama yang langsung menyerap guncangan gempa tepat di bagian dasar bangunan sebelum merambat naik ke lantai di atasnya.

Analisis Efek P-Delta

Analisis P-Delta dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh efek orde kedua (*second-order effect*) terhadap perilaku struktur akibat kombinasi beban gravitasi dan perpindahan lateral yang terjadi saat gempa. Efek P-Delta dapat menyebabkan bertambahnya momen pada elemen struktur sehingga berpotensi meningkatkan deformasi dan menurunkan stabilitas struktur. Oleh karena itu, pemeriksaan P-Delta diperlukan untuk memastikan bahwa struktur tetap memenuhi persyaratan stabilitas sesuai ketentuan yang berlaku.

Table 5. Kontrol P-Delta denga FVD

Lantai	Eksisting		Dengan FVD		Ijin	% Redaman	% Redaman
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y			
6	0.0090	0.0140	0.0022	0.0010	**0.0910**	75.4%	92.5%
5	0.0191	0.0301	0.0046	0.0030	**0.0910**	75.7%	90.2%
4	0.0305	0.0484	0.0080	0.0074	**0.0910**	73.9%	84.7%
3	0.0441	0.0690	0.0095	0.0140	**0.0910**	78.4%	79.6%
2	0.0659	**0.1069**	0.0133	0.0242	**0.0910**	79.8%	77.4%
1	**0.1618**	**0.3522**	0.0283	0.0600	**0.0910**	82.5%	83.0%
Rata-rata						81.1%	84.6%

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai koefisien stabilitas P-Delta pada setiap tingkat bangunan masih berada di bawah batas yang dipersyaratkan. Hal ini mengindikasikan bahwa efek orde kedua tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan struktur. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Fluid Viscous Damper* (FVD) tidak hanya efektif dalam mengurangi respons dinamis akibat gempa, tetapi juga berkontribusi dalam membatasi perpindahan lateral struktur. Dengan berkurangnya perpindahan tersebut, tambahan momen akibat efek P-Delta menjadi lebih kecil sehingga stabilitas struktur tetap terjaga selama menerima beban gempa.

Table 6. Kontrol P-Delta dengan HDRB

Lantai	Arah X	Eksisting		Dengan HDRB		% Redaman	% Redaman
		Arah Y	Arah X	Arah Y	Ijin		
6	0.0090	0.0140	0.0036	0.0048	0.25	59.6%	65.8%
5	0.0191	0.0301	0.0053	0.0229	0.25	72.3%	23.8%
4	0.0305	0.0484	0.0051	0.0371	0.25	83.1%	23.3%
3	0.0441	0.0690	0.0134	0.0448	0.25	69.6%	35.0%
2	0.0659	**0.1069**	0.0392	0.0622	0.25	40.4%	41.8%
1	**0.1618**	**0.3522**	0.1043	0.1946	0.25	35.5%	44.7%
Rata-rata						49.6%	39.1%

Berdasarkan data pada Tabel 6., penggunaan High Damping Rubber Bearing (HDRB) terbukti efektif meminimalkan pengaruh efek P-Delta akibat gempa Hamadori, dengan tingkat redaman rata-rata mencapai 49.6% pada arah X dan 39.1% pada arah Y. Pada kondisi eksisting, struktur mengalami kerentanan ekstrem di lantai bawah karena nilai P-Delta pada Lantai 1 (0.1618 dan 0.3522) serta Lantai 2 arah Y (0.1069) telah melebihi batas izin sebesar 0.0909. Namun, setelah dipasang karet isolator HDRB, batas izinnya menjadi 0.25 karena sistem mengizinkan pergeseran elastis pada bantalan dasar. Reduksi P-Delta secara drastis ini terjadi karena HDRB memotong gaya lateral gempa utama dan mengubah mekanika pergerakan gedung, dimana struktur atas kini bergeser secara kaku (*rigid body*). *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada Gedung Asrama Tsurayaa Islamic School dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan system *Damper* jenis *Fluid Viscous Damper* efektif dalam menekan perilaku struktur agar memenuhi Batasan kontrol keamanan yang sudah ditetapkan dengan nilai sebagai berikut:
   Gaya Geser Dasar : Rata-rata redaman arah X 1061.58 dan 1253.35 untuk arah Y
   Partisipasi Mass : 90% rasio tercapai pada mode ke 5
   Periode Getar Alami : mengalami penurunan menjadi 0.638s
   Perpindahan Antar Lantai : 86.3% untuk arah X dan 61. 3 untuk arah Y
   Efek P-Delta : Rata-rata redaman arah X 86.3% dan 84.6% untuk arah Y
2. Penggunaan sistem *Base Isolator* jenis *High Damping Rubber Bearing* efektif dalam menekan perilaku struktur agar memenuhi Batasan control keamanan yang sudah ditetapkan dengan nilai sebagai berikut:
   Gaya Geser Dasar : Rata-rata redaman arah X 1296.94 dan 1134.79 untuk arah Y
   Partisipasi Mass : 90% rasio tercapai pada mode ke 3
   Periode Getar Alami : mengalami peningkatan menjadi 3.469s
   Perpindahan Antar Lantai : 94% untuk arah X dan 64.5% untuk arah Y
   Efek P-Delta : Rata-rata redaman arah X 48.6% dan 39.1% untuk arah Y
3. Melalui perbandingan yang sudah didaptkan terhadap struktur eksisting, sistem *High Damping Rubber Bearing* disimpulkan sebagai sistem yang paling optimal dalam memperbaiki perilaku struktur gedung pada studi kasus ini. Pemilihan HDRB didasarkan pada kemampuan HDRB dalam mereduksi gaya gempa sejak dari Struktur bawah bangunan, sehingga transfer gaya gempa sejak dari Struktur bawah bangunan, sehingga transfer gaya dari struktur bawah ke atas menjadi lebih kecil. Hal ini dibuktikan dengan nilai reduksi gaya geser dasar yang mencapai lebih dari 57% pada arah X dan 48% pada arah Y. Serta penggunaan HDRB dapat mengoptimalisasi perpanjangan periode alami struktur secara signifikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2019). SNI 1726-*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

Anonim. (2019). SNI 2847-*Persyaratan Beton Struktural Untuk Banguan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

Anonim. (2020). SNI 1727-*Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktru Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

Anonim. (2024). SNI 2852-*Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

Burhan, L. I. (2024). *Analisa Penggunaan Base Isolation System Tipe HBRB Pada Gedung Rumah Sakit Kabupaten Lombok Barat*. *Jurnal Syntax Idea*, *5*(2), 1–6. https://doi.org/10.36656/jpmph.v5i2.2225

Faisal Nurhidayatullah, E., & Ardiyanto, D. (2025). Seismic Performance Study of Multi-storey Building Structures with Nonlinear Time History Analysis Method. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and*

FEMA. (2006). *NEHRP recommended provisions: Design examples (FEMA 451)*. U.S. Department of Homeland Security, FEMA.

Gunawan, I. (2022). Introduction to design of seismically-isolated structures in japan (P. 45). HAKI.

Liemer, F. E. (2026). *Studi Komparasi Struktur Baja dengan Variasi Kapasitas Fluid Viscous Damper*

Muzahab, L. A., Zulkarnaen, M. R., & Fafaro, M. G. (2019). Peran Viskos Damper pada Struktur Gedung dengan Denah Beraturan dan Tak Beraturan Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Impresi Indonesia (JII)*, 2784–2798.

Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: From theory to practice*. John Wiley & Sons.

Raja, C. M. L. N., Simatupang, P. H., & Sina, D. A. T. (2025). Analisis Perbandingan Kinerja Struktur Bangunan Fixed-Base dan Base-Isolation dengan Variasi Redaman Eefektif Base Isolator. *Jurnal Teknik Sipil*, *14*(1), 77–90.