



Analisa Penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD-750) Sebagai Peredam Beban Gempa Terhadap Nilai Interstory Drift Menggunakan Metode Pushover dengan Program Bantu SAP2000 (Studi Kasus Gedung Lab.Terpada Pendukung Blok Masela Unviersitas Pattimura)

Morgan Lamotokana Setiady^{1*}, Syafruddin Ishak Latuconsina¹, Rabiyyatul Uzda¹, Aldi Fatahillah Serang¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Indonesia

*Korespondensi: morgan.lamatokana@gmail.com

ABSTRAK

Struktur beton bertulang Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela di wilayah gempa Maluku tanpa menggunakan Fluid Viscous Damper (FVD-750) memiliki nilai simpangan antar lantai atau Interstory drift hingga 2% dengan kondisi struktur berada pada level kinerja Damage Control (DO). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai Interstory drift dan level kinerja struktur beton bertulang Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela di wilayah gempa Maluku dengan menggunakan Fluid Viscous Damper (FVD-750). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis pushover dengan program bantu SAP2000 yang dimulai dengan pemodelan struktur tiga dimensi dengan menempatkan Fluid Viscous Damper (FVD-750) yang berjumlah 20 buah pada 20 titik yang kemudian dilanjutkan dengan pengimputan parameter desain dan gempa. Level kinerja struktur akan dinilai berdasarkan standar ATC-40, 1996. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem Fluid Viscous Damper (FVD-750) memberikan nilai Interstory drift struktur yang lebih baik yakni kurang dari 1%. Berdasarkan persyaratan ATC-40, 1996 level kinerja struktur gedung berada pada level immediate occupancy (IO). Level tersebut menjelaskan bahwa bila terjadi gempa maka akan terdapat sedikit kerusakan yang tidak berarti pada struktur sehingga bangunan masih aman dan dapat difungsikan kembali.

SEJARAH ARTIKEL

Diterbitkan 30 Juni 2024

KATA KUNCI

FVD-750; Pushover; Interstory Drift; Level Kinerja.

1. Pendahuluan

Interstory Drift adalah perpindahan relatif antara lantai satu dengan lantai di atasnya atau di bawahnya dalam sebuah bangunan. Perpindahan ini terjadi akibat beban lateral, seperti gempa bumi atau angin. Dalam konteks gempa bumi, interstory drift adalah salah satu penyebab utama kerusakan pada bangunan bertingkat. Faktor yang Mempengaruhi Interstory Drift diantaranya adalah ketinggian bangunan, distribusi massa dan kekakuan struktur. Kekakuan struktur menjadi penting karena jika bangunan terlalu fleksibel dapat mengalami interstory drift yang lebih besar selain itu desain kekakuan yang tidak seimbang antara antar lantai dapat menyebabkan pergerakan yang tidak seragam.

Meningkatkan kekakuan struktur gedung dengan memperbesar penampang elemen strukturnya (seperti kolom dan balok) memiliki kelemahan sturktural yakni beban mati yang juga semakin meningkat. Efek terhadap dinamika struktur adalah meskipun penampang yang lebih besar dapat meningkatkan kekakuan dan stabilitas, hal ini juga dapat mengubah respon dinamis bangunan terhadap beban gempa. Penyesuaian yang tidak tepat bisa menyebabkan masalah lain seperti resonansi atau distribusi beban yang tidak merata.

Pada kasus bangunan yang sudah berdiri, meningkatkan kekakuan struktur untuk mengurangi getaran struktur memiliki tantangan tersendiri terlebih pada daerah yang rawan gempa. Salah satu cara untuk mengurangi getaran dan meningkatkan stabilitas struktur adalah dengan penambahan *Fluid Viscous Damper*. Fluid Viscous Damper 750 (VFD 750) dalah jenis peredam getaran fluida viskos yang digunakan untuk mengurangi dan mengontrol getaran pada berbagai struktur salah satunya gedung. VFD 750 bekerja dengan menggunakan fluida viskos yang berada di dalam sebuah silinder. Saat terjadi getaran, piston di dalam silinder bergerak, dan fluida viskos tersebut mengalir melalui celah atau

lubang kecil. Hambatan yang dihasilkan oleh fluida viskos ini mengubah energi kinetik dari getaran menjadi energi panas, yang kemudian didisipasi. Cara ini efektif mengurangi amplitudo getaran dan memberikan stabilitas pada struktur

Metode *Pushover* adalah salah satu teknik analisis statis non-linier yang digunakan dalam rekayasa struktur untuk mengevaluasi kinerja bangunan terhadap beban lateral, seperti gempa. Analisis *Pushover* sangat berguna dalam mengidentifikasi titik-titik lemah dalam struktur dan dalam merancang strategi retrofit untuk meningkatkan ketahanan bangunan. Tahapan Metode *Pushover* dimulai dari pemodelan struktur dimana struktur bangunan dimodelkan dalam program bantu analisis SAP2000 dengan memasukkan semua elemen struktural, seperti kolom, balok, dan *FVD-750*. Selanjutnya dimasukkan beban gempa untuk titik Lokasi Gedung kemudian beban gempa lateral ditingkatkan secara bertahap, dan respons struktur diamati pada setiap tahapannya. Hasil analisis yakni interstory drift akan menjadi acuan untuk mengetahui kinerja struktur. Level Kinerja Struktur ditetapkan berdasarkan *ATC-40*.

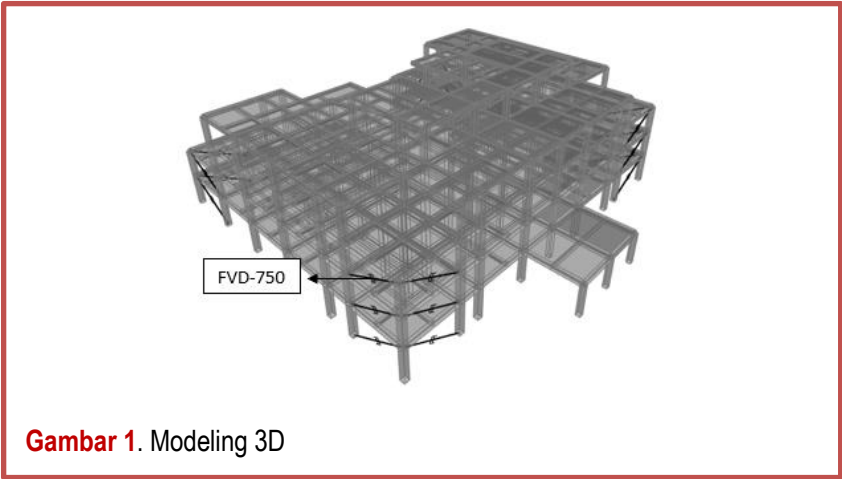
2. Metode Penelitian

Studi kasus pada penelitian ini adalah Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura di wilayah kota Ambon, Maluku, Indonesia. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan seperti *shop drawing* dan data struktur Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura, data analisis kinerja struktur pada penelitian sebelumnya, serta data spesifikasi *Fluid Viscous Damper (FVD-750)*.

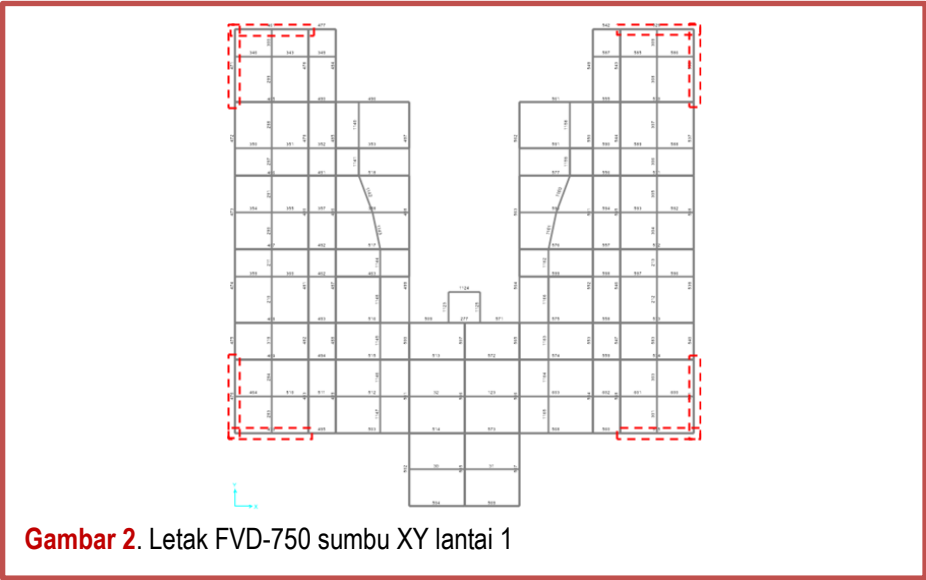
Setelah dilakukannya pengumpulan data, maka perlu dimodelkan struktur Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura dengan menempatkan peredam *FVD-750* yang kemudian dianalisis menggunakan metode analisis *pushover* dengan program bantu SAP2000. Berikut adalah data profil struktur Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura:

- a) Kolom (K1), 700 x 700 mm
- b) Kolom (K2), 600 x 600 mm
- c) Kolom (K3), 500 x 500 mm
- d) Kolom (K4), 450 x 450 mm
- e) Balok induk, 400 x 700 mm lantai 1,2,3
- f) Balok induk, 300 x 600 mm lantai 4
- g) Balok induk, 300 x 500 mm lantai 1,2,3,4,5
- h) Balok anak, 300 x 400 mm lantai 4
- i) Tebal plat 13 cm untuk lantai
- j) Tebal plat 10 cm untuk atap

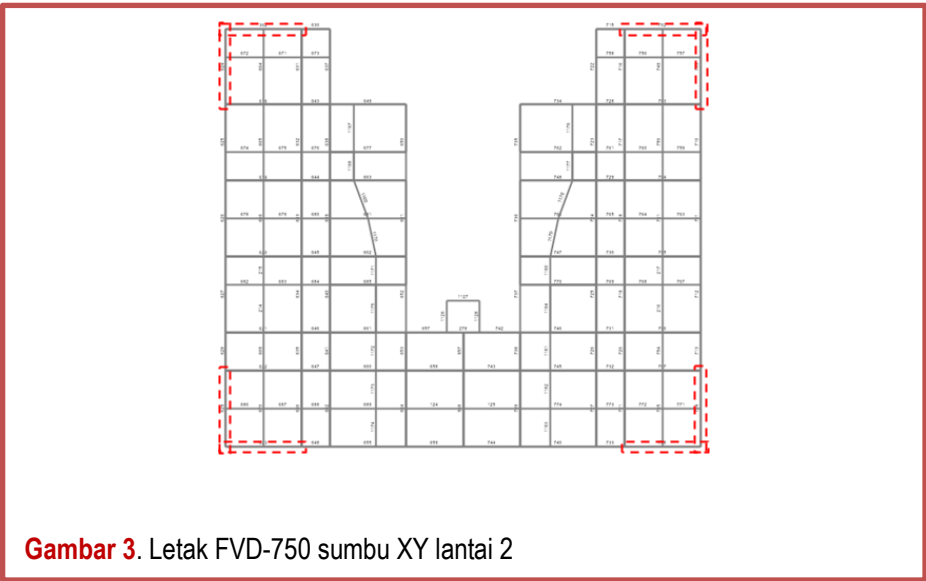
Pemodelan dengan program bantu SAP2000 dilakukan dalam dua tahap yakni melakukan analisis statis tanpa *FVD-750* dan analisis *pushover* dengan *FVD-750*. *FVD-750* dipasang pada Gedung dengan jumlah 20 buah pada 20 titik. Letak *FVD-750* akan ditempatkan diantara *frame* 3 - 4, 67 - 68, 129 - 130, 56 - 57, 71 - 72, 135 - 136, 27 - 28, 120 - 121, 33 - 34, 126 - 127, 3 - 7, 67 - 75, 129 - 139, 23 - 27, 112 - 120, 52 - 56, 71 - 80, 135 - 143, 33 - 36, 116 - 126. Gambar 1 memberikan informasi modeling struktur 3D dengan penempatan *FVD-750*.



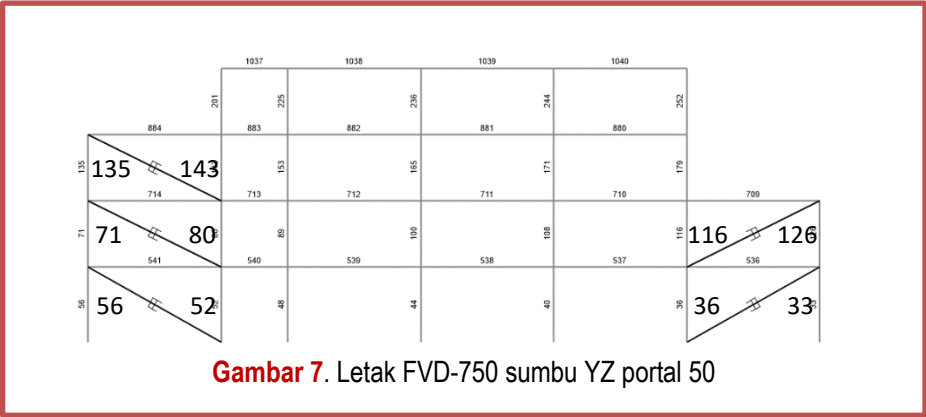
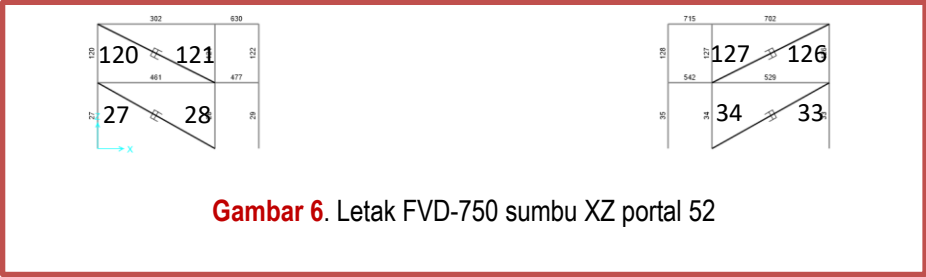
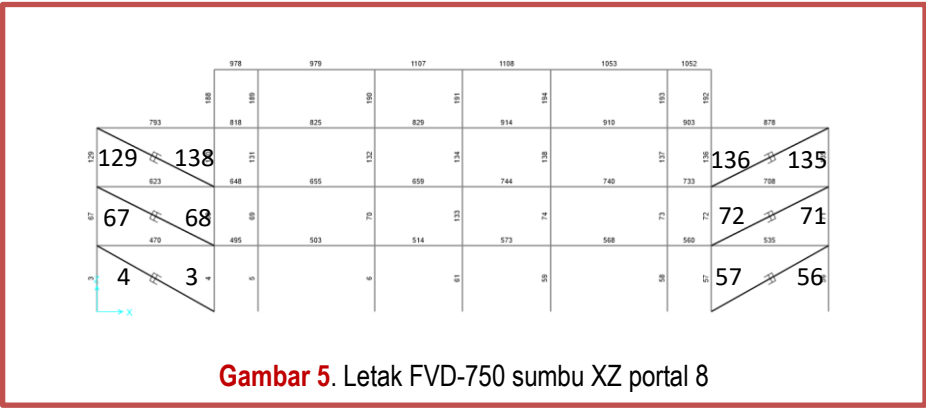
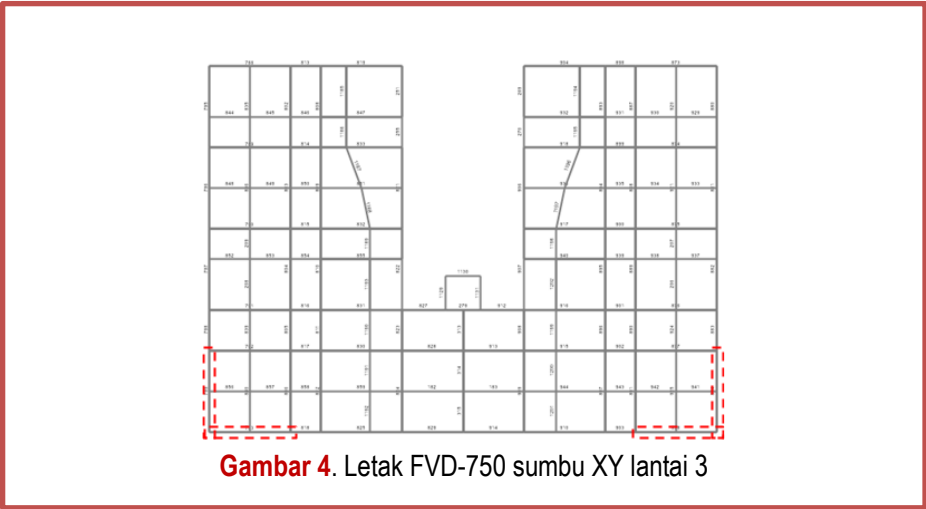
Gambar 1. Modeling 3D

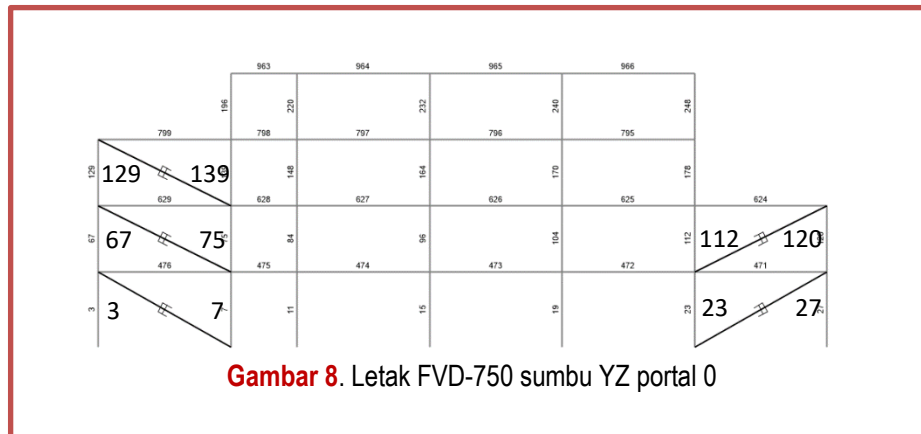


Gambar 2. Letak FVD-750 sumbu XY lantai 1



Gambar 3. Letak FVD-750 sumbu XY lantai 2





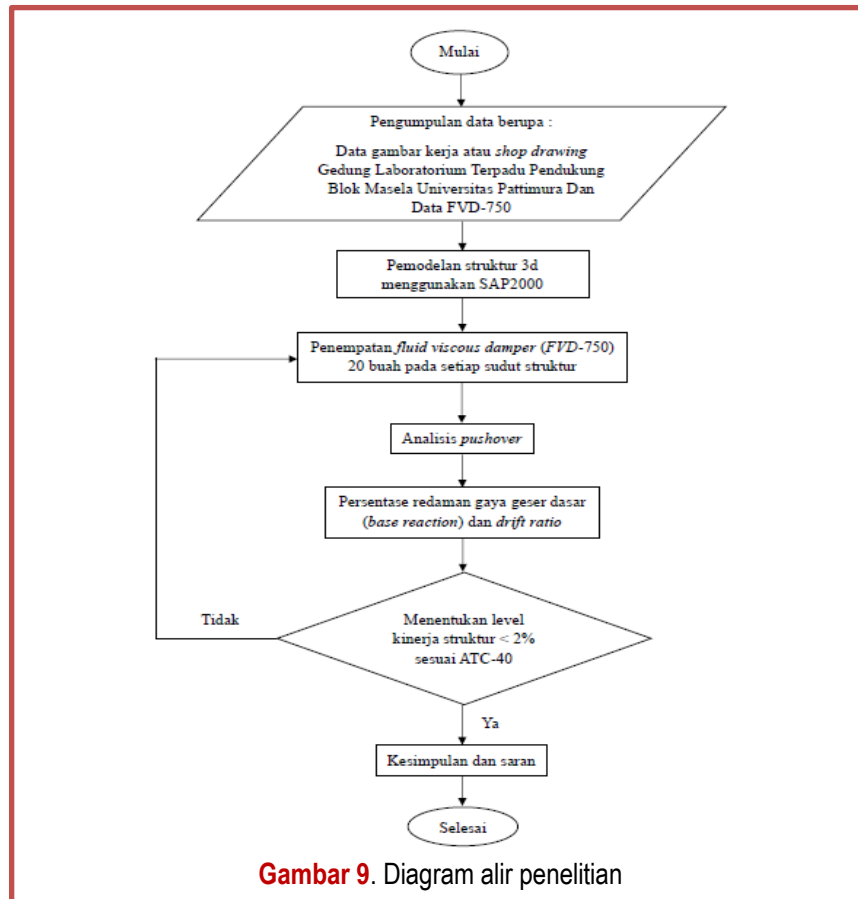
Gambar 8. Letak FVD-750 sumbu YZ portal 0

Berdasarkan nilai interstory drift struktur, baik tanpa *FVD-750* ataupun dengan *FVD-750* level kinerja struktur kemudian ditentukan, mengacu pada ATC-40. Tabel 1 memperlihatkan level kinerja struktur berdasarkan batasan interstory drift. Struktur bisa dikategorikan dalam empat level kinerja yakni, *Immediate Occupancy (IO)*, kondisi Dimana ketika terjadi gempa struktur masih aman, hanya terjadi sedikit kerusakan minor dimana untuk memperbaikinya tidak mengganggu pengguna, kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi. *Life Safety (LS)*, adalah kondisi saat gempa terjadi, pada struktur timbul kerusakan yang cukup signifikan tetapi belum mengalami keruntuhan, komponen-komponen struktur utama tidak runtuh dan struktur masih stabil mampu menahan gempa kembali, bangunan masih dapat digunakan jika dilakukan perbaikan. *Collapse Prevention (CP)* adalah kondisi dimana merupakan batas kemampuan dari struktur dimana struktural dan nonstruktural sudah mengalami kerusakan yang parah, namun stuktur tetap berdiri dan tidak runtuh, struktur sudah tidak lagi mampu menahan gaya lateral.

Tabel 1. Batas Defomasi

Interstory Drif Limit	Level kinerja struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Live Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01-0,02	0,0	0,33 V_i/P_i
Simpangan nonelastic maksimum	0,005-0,0015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Sumber: ATC-40 Table 11-2 Deformation Limits, hal 11-4



3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Redaman Gaya Geser Dasar (Base Reaction)

Pada persentase redaman nilai gaya geser dasar (*base reaction*) diambil nilai daripada kurva *pushover* dengan letak kondisi dimana elemen struktur mulai mengalami leleh pertama. Persentase redaman nilai *base reaction* merupakan perbandingan persentase dari struktur tanpa *Fluid Viscous Damper (FVD-750)* dan struktur dengan *Fluid Viscous Damper (FVD-750)*. Berikut persentase nilai *base reaction* pada arah X dan arah Y.

Tabel 2. Persentase redaman *base reaction* arah X pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung (Blok Masela Universitas Pattimura)

	Leleh Pertama Arah X		
	Step	Displacement (m)	Base Reaction (kN)
Tanpa FVD-750	4	0,068342	11444,12
Dengan FVD-750	2	0,02861	9422,168
% Redaman			45%

Sumber: Analisis Data, 2024

Tabel 3. Persentase redaman *base reaction* arah Y pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung (Blok Masela Universitas Pattimura)

Leleh Pertama	Leleh Pertama Arah Y		
	Step	Displacement (m)	Base Reaction (kN)
Tanpa FVD-750	9	0,082442	12832,87
Dengan FVD-750	3	0,027566	9061,209
% Redaman			41%

Sumber: Analisis Data, 2024

Berdasarkan tabel 2 dan tabel 3 bahwa penggunaan *FVD-750* pada struktur memiliki kelebihan untuk meningkatkan redaman struktur terhadap gaya gempa, hal ini ditandai dengan leleh pertama struktur pada Arah-X dicapai pada step 2, displacement dengan *FVD-750* adalah 0.02861m lebih kecil dibandingkan tanpa *FVD-750* sebesar 0.068342m. Pada Arah-Y dicapai pada step 3, dimana displacement dengan *FVD-750* adalah 0,027566m lebih kecil dibandingkan tanpa *FVD-750* sebesar 0,082442m. Gaya geser dasar atau *base reaction* yang diperoleh struktur dengan *FVD-750* nilainya lebih kecil dibandingkan struktur tanpa *FVD-750* dimana persentase redaman arah X 45% dan arah Y 41%.

3.2 Analisis Statis

a. *Interstory drift* analisa statis tanpa *FVD-750*

Perpindahan elastik dapat diperoleh dari :

$$\delta_e = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta_e = 18,58 - 7,92$$

$$\delta_e = 10,66 \text{ mm}$$

Simpangan antar tingkat dapat diperoleh dari :

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1})C_d}{l_E} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times h_{sx}}{\rho}$$

$$\Delta_2 = 10,66 \times \frac{5,5}{1,5} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times 4000}{1,3}$$

$$\Delta_2 = 39,09 \leq \Delta_a = 30,77 \text{ mm} \quad \textbf{Tidak Aman}$$

$$\text{Maka diperoleh } \textit{Interstory drift} = \frac{\Delta_2}{h_{sx}} = 0,01$$

Hasil perhitungan diatas ditinjau dari arah X, sebagai informasi bahwa digunakan cara yang sama untuk menghitung arah Y. Berikut rekapitulasi dari perhitungan *story drift* tanpa menggunakan *Fluid Viscous Damper*.

Tabel 4 Rekapitulasi *Interstory drift* tanpa *FVD-750* pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung (Blok Masela Universitas Pattimura)

Lantai	Tinggi (mm)	<i>Story Drift</i>		<i>Interstory drift Tanpa FVD-750</i>	
		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	X (mm)	Y (mm)
5	4000	23,43	26,36	0,01	0,01
4	4000	27,32	31,22	0,01	0,01
3	4000	34,7	38,17	0,01	0,01
2	4000	39,09	41,38	0,01	0,01
1	4500	29,03	29,72	0,01	0,01

Sumber: Analisis Data, 2024

Dari tabel 4 diatas menjelaskan bahwa struktur tanpa *FVD-750* memiliki nilai *Interstory drift* dibawah 1% namun pada beberapa lantai diperoleh *story drift* yang melebihi dari *drift limit* yakni 30,77 mm sehingga struktur masih belum dikatakan aman.

b. *Interstory drift* analisa statis dengan *FVD-750*

Perpindahan elastik dapat diperoleh dari :

$$\delta_e = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta_e = 0,572 - 0$$

$$\delta e = 0,572 \text{ mm}$$

Simpangan antar tingkat dapat diperoleh dari :

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1})C_d}{l_E} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times h_{sx}}{\rho}$$

$$\Delta_2 = 0,572 \times \frac{5,5}{1,5} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times 4000}{1,3}$$

$$\Delta_2 = 2,096 \leq \Delta_a = 30,77 \text{ mm} \quad \textbf{Aman}$$

$$\text{Maka diperoleh } Interstory \text{ drift} = \frac{\Delta_2}{h_{sx}} = 0,00$$

Hasil perhitungan diatas ditinjau dari arah X, sebagai informasi bahwa digunakan cara yang sama untuk menghitung arah Y. Berikut rekapitulasi dari perhitungan *story drift* dengan menggunakan *Fluid Viscous Damper*.

Tabel 5 Rekapitulasi *Interstory drift* dengan *FVD-750* pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung (Blok Masela Universitas Pattimura)

Lantai	Tinggi	Story Drift		Interstory drift dengan <i>FVD-750</i>	
		Δ_x	Δ_y	X	Y
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	4000	24,29	28,40	0,01	0,01
4	4000	19,45	20,94	0,00	0,01
3	4000	5,45	3,86	0,00	0,00
2	4000	2,10	2,14	0,00	0,00
1	4500	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: Analisis Data, 2024

Dari tabel 5 diatas menjelaskan bahwa struktur dengan *FVD-750* memiliki nilai *Interstory drift* dibawah 1% dan pada semua lantai diperoleh *story drift* yang kurang dari *drift limit* yakni 30,77 mm maka struktur bisa dikatakan aman.

3.4 Analisis Pushover

a. *Interstory drift* analisis *pushover* tanpa *FVD-750*

Berikut salah satu contoh perhitungan simpangan antar tingkat atau *Interstory drift* pada salah satu lantai.

Perpindahan elastik dapat diperoleh dari :

$$\delta e = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta e = 156,93 - 53,14$$

$$\delta e = 103,79 \text{ mm}$$

Simpangan antar tingkat dapat diperoleh dari :

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1})C_d}{l_E} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times h_{sx}}{\rho}$$

$$\Delta_2 = 103,79 \times \frac{5,5}{1,5} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times 4000}{1,3}$$

$$\Delta_2 = 380,55 \leq \Delta_a = 30,77 \text{ mm} \quad \textbf{Tidak Aman}$$

$$\text{Maka diperoleh } Interstory \text{ drift} = \frac{\Delta_2}{h_{sx}} = 0,05$$

Hasil perhitungan di atas ditinjau dari arah X, sebagai informasi bahwa digunakan cara yang sama untuk menghitung arah Y. Berikut rekapitulasi dari perhitungan *story drift* dengan *running pushover* tanpa menggunakan *Fluid Viscous Damper*.

Tabel 6 Rekapitulasi *Interstory drift* setelah *pushover* tanpa *FVD-750* pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung (Blok Masela Universitas Pattimura)

Lantai	Tinggi (mm)	Story Drift		Interstory drift dengan <i>FVD-750</i>	
		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	X (mm)	Y (mm)
5	4000	503,39	257,86	0,13	0,06
4	4000	615,84	466,51	0,15	0,12
3	4000	505,31	240,27	0,13	0,06
2	4000	380,55	186,45	0,1	0,05
1	4500	194,85	110,23	0,04	0,02

Sumber: Analisis Data, 2024

Dari tabel 6 diatas menjelaskan bahwa struktur tanpa *FVD-750* memiliki nilai *Interstory drift* dibawah 1% namun pada beberapa lantai diperoleh *story drift* yang melebihi dari *drift limit* yakni 30,77 mm sehingga struktur masih belum dikatakan aman.

b. *Interstory drift* analisis *pushover* dengan *FVD-750*

Perpindahan elastik dapat diperoleh dari:

$$\delta_e = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta_e = 0,98 - 0$$

$$\delta_e = 0,98 \text{ mm}$$

Simpangan antar tingkat dapat diperoleh dari :

$$\Delta_2 = \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d}{l_E} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times h_{sx}}{\rho}$$

$$\Delta_2 = 0,98 \times \frac{5,5}{1,5} \leq \Delta_a = \frac{0,010 \times 4000}{1,3}$$

$$\Delta_2 = 3,58 \leq \Delta_a = 30,77 \text{ mm (Aman)}$$

$$\text{Maka diperoleh } \text{Interstory drift} = \frac{\Delta_2}{h_{sx}} = 0,05$$

Hasil perhitungan diatas ditinjau dari arah X, sebagai informasi bahwa digunakan cara yang sama untuk menghitung arah Y. Berikut rekapitulasi dari perhitungan *story drift* dengan menggunakan *Fluid Viscous Damper*.

Tabel 7 Rekapitulasi *Interstory drift* setelah *pushover* dengan menggunakan *FVD-750* pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura

Lantai	Tinggi (mm)	Story Drift		Interstory drift	
		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	X (mm)	Y (mm)
5	4000	67,17	232,33	0,02	0,06
4	4000	84,55	399,73	0,02	0,10
3	4000	17,63	10,60	0,00	0,00

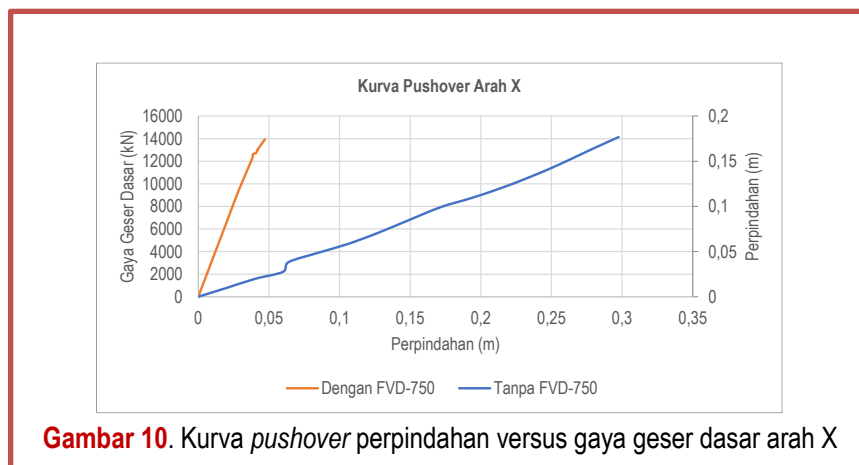
2	4000	3,58	5,08	0,00	0,00
1	4500	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: Analisis Data, 2024

Dari tabel 7 diatas menjelaskan bahwa struktur dengan *FVD-750* memiliki nilai *Interstory drift* dibawah 1% namun pada beberapa lantai diperoleh *story drift* yang melebihi dari *drift limit* yakni 30,77 mm sehingga struktur masih belum dikatakan aman.

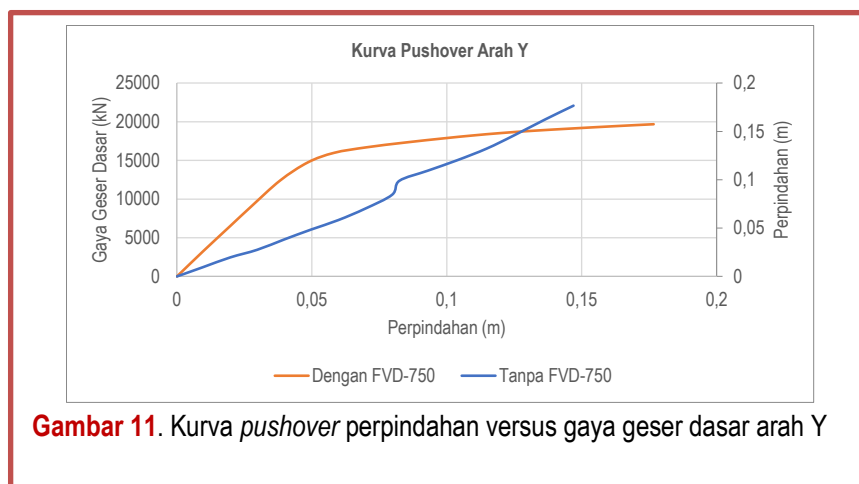
3.4 Level Kinerja Struktur

Dalam mengevaluasi level kinerja struktur maka penelitian merujuk pada simpangan target kinerja yang dianalisis sesuai persyaratan FEMA 440 yang menggunakan metode *pushover*.



Gambar 10 memperlihatkan kurva *pushover* arah X yang dihasilkan dengan *FVD-750* merupakan kurva *pushover* yang dimana memberikan gambaran mengenai hubungan deformasi dan gaya geser dasar dengan semakin besarnya nilai gaya geser dasar maka nilai perpindahan juga akan semakin besar. Penggunaan *FVD-750* pada arah X terlihat memperkecil perpindahan secara sangat signifikan.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa dengan penggunaan *FVD-750* pada arah Y, tidak secara signifikan mereduksi simpangan, tetapi gaya geser dasar yang dihasilkan, lebih kecil dari struktur tanpa peredam. Struktur bangunan harus cukup kaku demi menahan beban yang bekerja baik beban gravitasi ataupun beban gempa dengan nilai simpangan atau *displacement* yang cukup kecil.



Untuk mengetahui kinerja dari struktur gedung pada penelitian ini ditinjau berdasarkan nilai *Interstory drift*. *Interstory drift* merupakan indikator penentu kerusakan struktur bangunan, *Interstory drift* dapat ditentukan dari simpangan antar tingkat dibagi dengan tinggi tingkat.

Tabel 8 *Interstory drift* saat kinerja struktur tercapai tanpa FVD-750 pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung

Blok Masela Universitas Pattimura			
Arah	Elevasi Titik Kontrol (m)	Simpangan, Dp , DCM (m)	<i>Interstory drift</i>
X	20,5	0,227	1,11%
Y	20,5	0,261	1,27%

Sumber: Analisis Data, 2024

Dari hasil *Interstory drift* pada tabel 8 diatas menunjukkan bahwa level kinerja struktur berda pada *damage control* (DO). Hal ini disebabkan nilai *Interstory drift* yang didapat berada diantara 1% dan 2%, yaitu batas simpangan yang diisyaratkan pada peraturan ATC-40,1996.

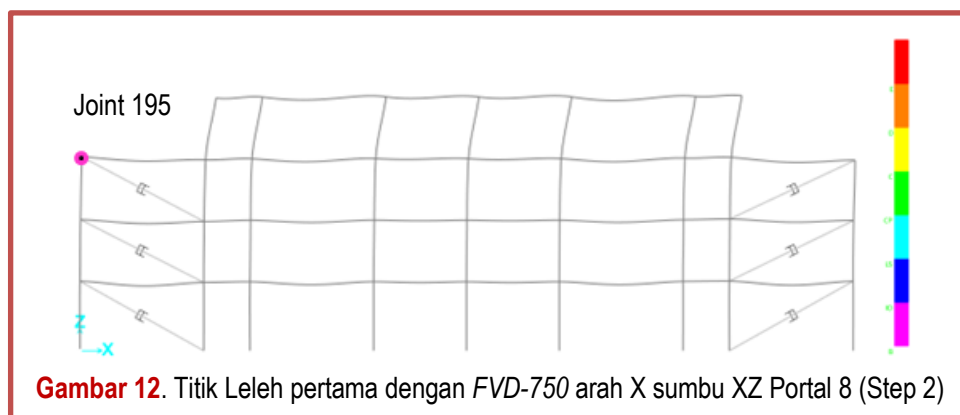
Tabel 9 *Interstory drift* saat kinerja struktur tercapai dengan menggunakan FVD-750 pada Gedung Laboratorium Terpadu Pendukung Blok Masela Universitas Pattimura

Arah	Elevasi Titik Kontrol (m)	Simpangan, Dp , DCM (m)	<i>Interstory drift</i>
X	20,5	0,0485	0,24%
Y	20,5	0,0451	0,22%

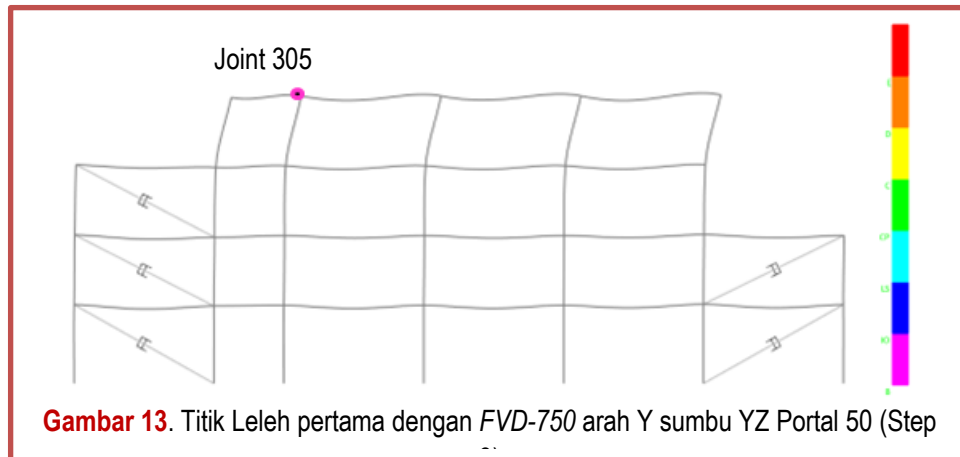
Sumber: Analisis Data, 2024

Dari hasil *Interstory drift* pada tabel 9 diatas menunjukkan bahwa level kinerja struktur berada pada *immediate occupancy* (IO). Hal ini disebabkan nilai *Interstory drift* yang didapat kurang dari 1%, yaitu batas simpangan yang diisyaratkan pada peraturan ATC-40,1996.

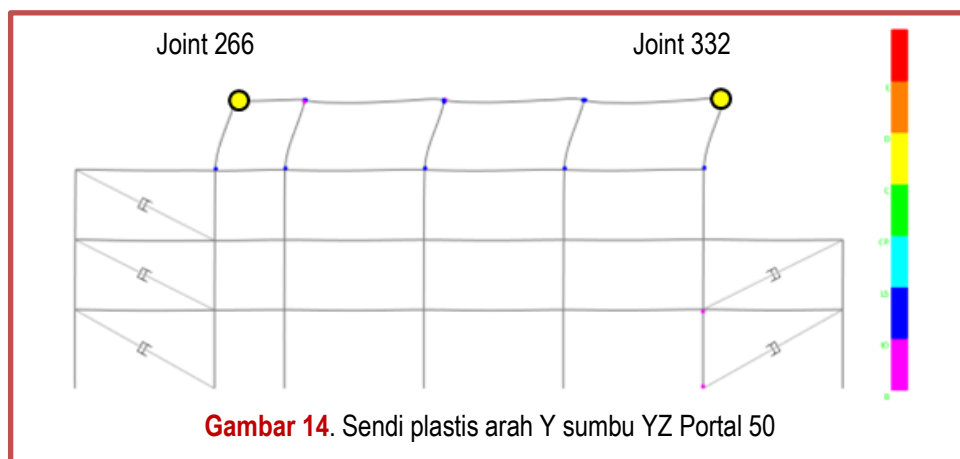
Hasil *Interstory drift* yang diperoleh struktur dengan FVD-750 yang berjumlah 20 buah di setiap 20 titik jelas lebih bagus kinerjanya, hal ini dapat dilihat dari level kinerja struktur yang diperoleh. Berikut merupakan gambar kondisi leleh pertama yang terjadi pada struktur untuk arah X dan arah Y menggunakan FVD-750.



Berdasarkan gambar 12 diatas menunjukkan bahwa leleh pertama struktur dengan FVD-750 yang terjadi terdapat pada joint 195 dengan level kinerja struktur berada pada status *immediate occupancy* untuk arah X.



Berdasarkan gambar 13 diatas menunjukan bahwa leleh pertama yang terjadi terdapat pada joint 305 dengan level kinerja struktur berada pada status *immediate occupancy* untuk arah Y.



Gambar 14 memperlihatkan bahwa sendi plastis pertama yang terjadi adalah adalah pada arah Y Portal 50 di lantai 5 pada joint 266 dan joint 332. Gambar 14 juga memperlihatkan bahwa ketika terjadi sendi plastis, struktur dengan pemasangan FVD-750 masih bekerja dengan sangat baik. Sendi plastis yang terjadi di lantai 5 dan tidak mempengaruhi kinerja struktur bangunan secara keseluruhan.

Sendi plastis didefinisikan sebagai bagian dari elemen struktural yang mengalami deformasi plastis ketika beban yang diterapkan melampaui batas elastis material. Pada titik ini, material tidak lagi mengikuti hukum Hooke (di mana deformasi proporsional terhadap beban), tetapi mengalami deformasi permanen yang signifikan, yang berarti material tidak akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan.

Fluid viscous damper adalah salah satu alat peredam beban gempa untuk menyerap gaya getar yang masuk ke dalam struktur. Dengan menggunakan metode pushover, level kinerja struktur dapat ditentukan dengan acuan ATC 40, 1996 dan FEMA 440, 2005. Dengan mengacu pada standar yang digunakan, maka nilai dari persentase redaman base reaction dan nilai *interstory drift* dapat menentukan level kinerja struktur sesuai ATC 40, 1996. Analisis statik beban dorong (pushover) merupakan suatu analisis nonlinear statik dengan faktor gempa rencana pada struktur gedung dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya akan ditingkatkan secara bertahap sampai melewati pembebanan hingga tercapai kondisi leleh pertama (sendi plastis) pada struktur gedung, dan kemudian menghasilkan kurva pushover. Kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dapat diminimalisir dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa dengan menggunakan alat peredam beban gempa

Berdasarkan hasil penelitian diatas maka diperoleh nilai target kinerja struktur menggunakan metode DCM pada gedung Laboratorium Terpadu Blok Masela Universitas Pattimura tanpa tambahan FVD-750 untuk arah X sebesar 0,227

m displacement dan 27604,508 kN base shear dengan arah Y sebesar 0,261 m displacement dan 26196,603 kN sedangkan dengan tambahan FVD-750 untuk arah X sebesar 0,0485 m displacement dan 14181,340 kN base shear dengan arah Y sebesar 0,0451 m displacement dan 13974,340 kN. Ini menunjukkan bahwa penggunaan FVD-750 pada struktur mampu memperkecil displacement dan base shear yang terjadi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan tambahan fluid viscous damper level kinerja struktur berada pada tingkat immediate occupancy (IO), dimana setelah terjadinya gaya gempa yang bekerja, struktur masih tetap beroperasi tanpa harus dilakukannya perbaikan. Hal ini disebabkan karena adanya nilai *interstory drift* yang didapat kurang dari 1%, yaitu batas simpangan yang diisyaratkan pada peraturan ATC-40,1996.

Kemampuan Fluid Viscous Damper dalam meredam gaya gempa juga diperkuat dengan dalam tulisan Ferry Surya & Sugeng Wijanto tahun 2019 dengan judul *Desain Fluid Viscous Damper Pada Bangunan Struktur Baja Enam Lantai* yang memiliki kesimpulan bahwa terjadi penurunan simpangan antar lantai arah X sebesar 9,465% dan arah Y 8,82%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *fluid viscous damper* memiliki dampak yang bagus demi mencapai level kinerja yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Setelah menganalisis kinerja struktur maka dapat diberikan kesimpulan berupa :

- Penggunaan FVD-750 mampu menyerap gaya lateral yang terjadi dengan diperolehnya persentase redaman *base reaction* untuk leleh pertama arah X sebesar 45% dan untuk arah Y sebesar 41%.
- Nilai *Interstory drift* yang tanpa FVD-750 berada diantara 1% sampai 2%, berdasarkan persyaratan ATC-40,1996 kinerja struktur berada dalam tingkat *damage control*.
- Nilai *Interstory drift* yang dengan FVD-750 pada struktur berada dibawah 1%, berdasarkan persyaratan ATC-40,1996 kinerja struktur berada dalam tingkat *immediate occupancy*.

Daftar Pustaka

- Amatulahy Pribadi, E., Desmaliana, E., & Fadilsha, D. T. (2020). Studi Perbandingan Respon Struktur Gedung Menggunakan Fluid Viscous Damper Dengan Variasi Jumlah Lantai. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 1-10.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2014). *Seismic Evaluation And Retrofit Of Existing Buildings* (ASCE 41-13). American Society of Civil Engineers.
- Applied Technology Council (ATC). (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* (ATC 40). Applied Technology Council.
- Aqil, I. (2010). Analisis fluid viscous damper pada bangunan dua belas lantai akibat gaya gempa. Repository Universitas Sumatera Utara. Retrieved from [link]
- Ardiansyah, S., & Himawan, L. (2020). Retrofitting Gedung Asrama Mahasiswa Dengan Pemodelan Fluid Viscous Damper Yang Efektif Ditinjau Dari Penempatan Instrumen Damper Dan Perilaku Bangunan Terhadap Beban Gempa SNI 1726-2019. Repository Universitas Gajah Mada. Retrieved from [link]
- Astyan, D. R. (2021). Alternatif Penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) pada Gedung Psikologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Repository ITS. Retrieved from [link]
- Azhar, M. F., & others. (2023). Analisis Perbandingan Fluid Viscous Damper dan Fixed Base Terhadap Beban Siklik dengan Finite Element. *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, Cantilever*, 12*, 121-130. Retrieved from <http://cantilever.id>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* (FEMA 440). Federal Emergency Management Agency.
- Masbudi, E., Purwanto, E., & Suoriyadi, A. (2015). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta). *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Desember 2015, 1-12.

- Natalia, L. F. (2020). Pengaruh Penambahan Fluid Viscous Damper Terhadap Kinerja Struktur pada Bangunan 5 Lantai Di Yogyakarta Dengan Analisis Pushover. Repository Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Praja, B. A., & Avanti, J. B. (2022). Waktu Getar Struktur Bangunan Gedung dengan Peredam Getar Eksternal Fluid Viscous Damper. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 6, 45-53.
- Sari, R. I. (2021). Analisis Efektivitas Pola Penempatan Fluid Viscous Damper pada Bangunan 10 Lantai Dengan Metode Time History Analysis. Repository Pertamina University. Retrieved from [link]
- Shahnarki, K., Antonius, & others. (2019). Analisis Efektivitas Pola Fluid Viscous Damper Pada Bangunan Bertingkat Dalam Mereduksi Respon Struktur Akibat Gaya Gempa. Repository UNISSULA.
- Sinaga, D. S., & others. (2023). Analisis Kekuatan Struktur Gedung RSU Muhammadiyah Metro Dalam Penggunaan Viscous Fluid Damper Dengan Metode Respon Spektrum. *Jurnal Teknik Sipil, SENDI*, 4, 1-10.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2013). Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. (SNI:1727). Standar Nasional Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung Dan Non-Gedung (SNI:1726). Standar Nasional Indonesia.
- Surya, F., & Wijanto, S. (2019). Desain Fluid Viscous Damper Pada Bangunan Struktur Baja Enam Lantai. In *Prosiding Seminar Intelektual Muda, Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi Dan Seni dalam Perencanaan dan Perancangan Lingkungan Terbangun* (pp. 113-116). FTSP, Universitas Trisakti.