

Research Article

ANALISIS PERBANDINGAN *FLUID VISCOUS DAMPER* DAN *FIXED BASE* TERHADAP BEBAN SIKLIK DENGAN *FINITE ELEMENT*Muhammad Farrel Azhar^{1*)}, Resti Nur Arini¹⁾, dan Fadli Kurnia¹⁾¹⁾ Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Received: 3 September 2023, Accepted: 15 November 2023, Published: 24 February 2024

Abstract

The geographical location of Indonesia, which is very at risk of earthquake disasters, requires the planning of building structures that are resistant to earthquake risks, one of which is by using base isolators. A base isolator system can improve structural performance by dissipating earthquake energy with its flexibility character to increase the vibration period. One type of base isolator is the Fluid Viscous Damper (FVD), which can be applied to high-rise buildings that often experience destruction during earthquakes. This research aims to determine the energy dissipation and ductility of fixed base structures and structures using FVD with finite element method using ABAQUS application. The object of analysis of this study uses a two-story portal with a steel structure. The results of this study obtained the characteristics of the two building models are semi-ductile, but there are differences in the ductility value between the two models. Based on the calculation results, the deviation ductility value that occurs in the fixed base building model is 2.624. Meanwhile, the deviation ductility of the FVD building model is 4.104. The use of FVD can increase the ductility value by 22%. The dissipation that can be done by the fixed base building model is 0.119, and the energy dissipation value for the building model with FVD is 0.156. Using FVD can increase energy dissipation in the analyzed model by 13.45%.

Key Words: *displacement, ductility, energy dissipation, fluid viscous damper, time history.***1. PENDAHULUAN**

Menurut Arifin (2019), letak geografis Indonesia yang sangat beresiko akan bencana gempa bumi mengharuskan perencanaan bangunan struktur yang tahan terhadap risiko gempa bumi, salah satunya dengan menggunakan base isolator. Secara umum, penggunaan base isolator dapat menahan 2% - 3% dari redaman kritis sehingga mampu menyebabkan perpindahan yang besar. Menurut Khan (2019), konsep base isolator merupakan suatu konsep yang sangat efektif digunakan untuk mengontrol kinerja struktur saat terjadi gempa. Masdiana (2019), menyebutkan gempa dapat menyebabkan beban lateral yang dapat memberikan simpangan terhadap struktur yang sangat rawan untuk bangunan bertingkat tinggi, selain harus mampu menahan beban lateral struktur gedung bertingkat tinggi juga harus mampu menahan gaya geser dan lentur yang disebabkan oleh berbagai macam gaya gravitasi. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dipasang pengaku arah melintang maupun vertikal untuk menyebarkan gaya lateral ke bidang vertikal untuk diteruskan ke pondasi.

Menurut Pratama (2021), gedung dengan tinggi lebih dari 20 meter atau memiliki jumlah lantai lebih

dari 6 termasuk ke dalam high rise building, maka gedung tersebut harus memenuhi aspek keawetan dan kenyamanan yang dilihat dari nilai kekakuan gedung tersebut. Menurut Putra (2019) Salah satu cara untuk meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktur high rise building yaitu dengan menggunakan *base isolator* pada struktur bangunan tersebut. Rahmawati (2019) menyebutkan sistem *base isolator* dapat meningkatkan kinerja struktur dengan mendisipasi energi gempa dengan karakter fleksibilitasnya untuk meningkatkan periode getaran. Menurut Wijaya (2021), di sisi lain, sistem base isolator meningkatkan kinerja struktur dengan meredam getaran dan gaya gempa yang datangnya dari tanah agar getaran tersebut tidak sampai ke struktur sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan struktur.

Menurut Masdiana (2016), penggunaan sistem *Fluid Viscous Damper* (FVD) dapat meningkatkan nilai daktilitas dari struktur saat terjadi gempa. Daktilitas merupakan kemampuan struktur mengalami deformasi inelastik secara bolak-balik dan berulang setelah leleh pertama. Daktilitas dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu simpangan struktur Gedung pada saat mencapai kondisi hampir runtuh dan simpangan pada saat leleh pertama dan

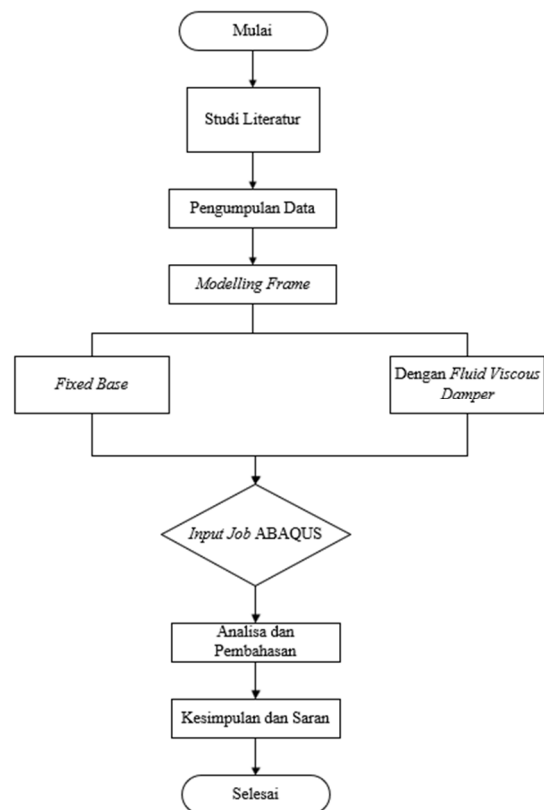
simpangan maksimum struktur akibat gempa saat kondisi di ambang keruntuhan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hajati (2018), penggunaan FVD pada struktur dapat meningkatkan daktilitas sebanyak 1% dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Muzahab (2018), penggunaan FVD dapat mereduksi simpangan lateral sebanyak 9.58%, dan simpangan *time history* sebesar 58%.

Menurut Baehaki (2018), analisis riwayat waktu (*time history analysis*) merupakan metode untuk meninjau perilaku gedung terhadap beban dinamik yang paling akurat, *time history* menggunakan data catatan gempa untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gaya luar yang terjadi. Dengan *time history*, perilaku struktur terhadap gaya luar yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan data catatan gempa. *Time history* melibatkan tiga aspek utama pada sebuah struktur yaitu massa, kekakuan, dan redaman. Sedangkan menurut Wiryadi (2021), Analisis riwayat waktu merupakan analisis mengenairepon dinamik suatu struktur bangunan dimana beban berupa percepatan getaran tanah dikerjakan secara bertahap dan besarnya berubah-ubah menurut waktu.

Menurut Wuaten (2022), struktur atau elemen struktur yang diberi beban siklik, disipasi energi yang terjadi dalam satu siklus ditampilkan berupa hysteresis loop atau kurva yang menyerupai angka delapan. *Hysteresis loop* dihasilkan dari hubungan antara gaya lateral yang bekerja dengan deformasi yang terjadi pada suatu struktur atau elemen struktur. Menurut Araby (2021), beban siklik merupakan pembebanan yang terjadi secara berulang/bolak-balik hingga terjadi fraktur kelelahan pada suatu struktur yang diakibatkan oleh adanya gaya gempa. Akibat beban siklik yang terjadi secara terus-menerus, struktur mengalami penurunan kapasitas tekan hingga 50% dari kapasitas awal, analisis beban siklik dilakukan dengan menggunakan analisis dinamik nonlinear.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode *finite element* dengan program bantu ABAQUS. Penelitian ini dilakukan berdasarkan urutan yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian

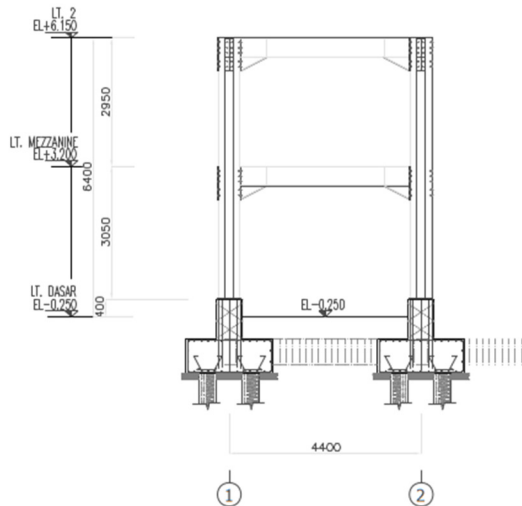
Finite element

Menurut Arliansyah (2022), *finite element* merupakan metode yang didasari atas pendekatan dengan menggunakan analisis numerik. *Finite element* merupakan pemecahan permasalahan struktur dengan menggunakan pendekatan pada sebuah permasalahan tertentu dalam teknik dan sains. Dalam *finite element* method, struktur yang dianalisis didiskritisasi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil, elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan titik nodal.

Finite element harus mewakili sifat-sifat dari struktur sebenarnya, karena setiap elemen hingga mempunyai beberapa variable yang tidak diketahui sesuai dengan sifat sebenarnya, *finite element* merupakan pengembangan dari analisis dengan metode matrix.

Data Struktur Penelitian

untuk data struktur yang dianalisis merupakan struktur portal baja 2 lantai dengan dengan tinggi 6,4 meter dan lebar 4,4 meter. Portal yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Portal objek analisis

Untuk profil baja yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Profil baja yang digunakan

Peruntukan	Ukuran
Kolom	WF 500x200x10x16
Balok	WF 450x200x9x14

Tabel 3. Material properties *Fluid Viscous Damper*

Force (kN)	Taylor Devices Model Number	Spherical Bearing Bore Diameter (mm)	Mid Stroke Length (mm)	Stroke (mm)	Clevis Thickness (mm)	Maximum Clevis Width (mm)	Clevis Depth (mm)	Bearing Thickness (mm)	Maximum Cylinder Diameter (mm)	Weight (kg)
250	17120	38.1	787	75	43	100	83	33	114	44
500	17130	50.8	997	100	55	127	102	44	150	98
750	17140	57.15	1016	100	59	155	129	50	184	168
1000	17150	69.85	1048	100	71	185	150	61	210	254
1500	17160	76.2	1105	100	77	205	162	67	241	306
2000	17170	88.9	1346	125	91	230	191	78	286	500
3000	171180	101.6	1441	125	117	290	203	89	350	800
4000	17190	127	1645	125	142	325	273	111	425	1088
6500	17200	152.4	1752	125	154	350	305	121	515	1930
8000	17210	177.4	1867	125	178	415	317	135	565	2625

Adapun *material properties* yang digunakan untuk dimasukkan kedalam aplikasi ABAQUS:

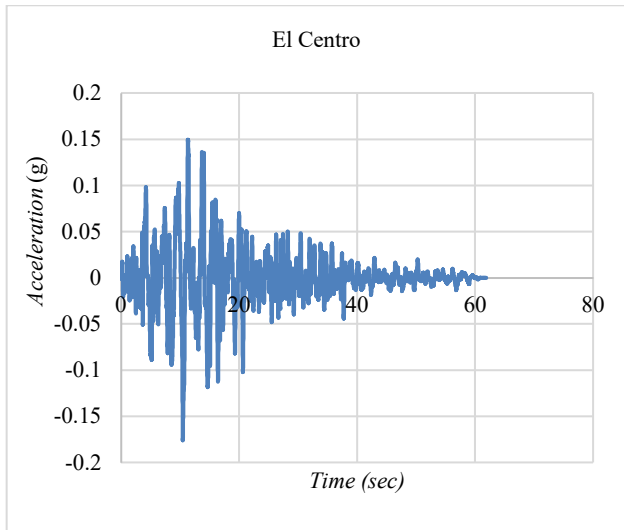
Tabel 2. Material properties profil baja

<i>Material Properties</i>				
<i>Density</i>	<i>Elastic</i>		<i>Plastic</i>	
	<i>Young Modulus</i>	<i>Poison Ratio</i>	<i>Yield Stress (MPa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
7850 Kg/m ³	200000 MPa	0.3	235	0
			260	0.00126
			339.39	2
			410	0.03875
			390.1	0.11

Pada penelitian ini menggunakan *Fluid Viscous Damper* dari produsen Taylor Device model number 17120 dengan *material properties Fluid Viscous Damper* sebagai berikut:

Time history Gempa

Time history yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kasus gempa El Centro sebagai beban siklik dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3. *Time history* gempa El Centro

Daktilitas Hysteresis Loop

Menurut Safitri (2017), pada pembenanan siklik bolak-balik, disipasi energi yang tercipta akibat adanya hubungan antara beban dan simpangan yang ditunjukkan dalam hysteresis loop. Daktilitas yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \tag{1}$$

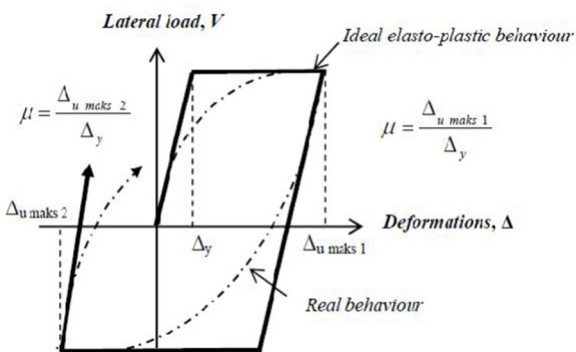
dengan:

μ_{Δ} = Daktilitas Simpangan

Δu = Simpangan Kondisi Ultimate

Δy = Simpangan Kondisi leleh Pertama

Daktilitas simpangan pada *hysteresis loop* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Daktilitas simpangan hysteresis loop

Disipasi Energi Hysteresis Loop

Menurut FEMA 440, Disipasi energi hysteresis loop merupakan hubungan geser-dasar dengan perpindahan-atap dengan menggunakan sifat dinamik sistem, dan hasilnya adalah disebut sebagai kurva kapasitas untuk struktur. Pada kurva kapasitas, redaman ekuivalen dari sistem sebanding dengan area yang dilingkupi oleh kurva kapasitas. Luas disipasi energi *hysteresis loop* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\beta\theta = \frac{1}{4\pi} \frac{E_d}{E_{so}} \tag{2}$$

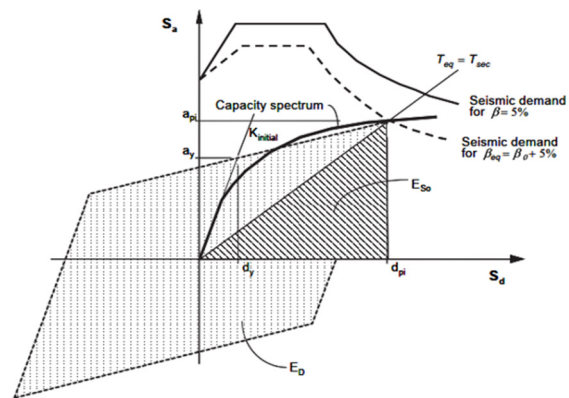
dimana:

$\beta\theta$ = Redaman *viscous damper* dalam satu area *hysteresis loop*

E_d = Energi yang terdisipasi oleh redaman

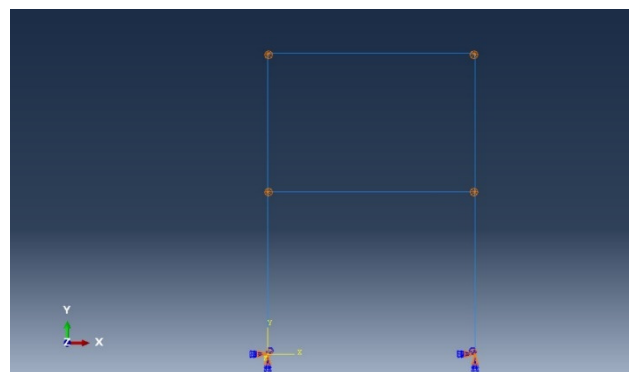
E_{so} = Energi regangan maksimum

Untuk luas area disipasi energi dapat dilihat pada Gambar 5.



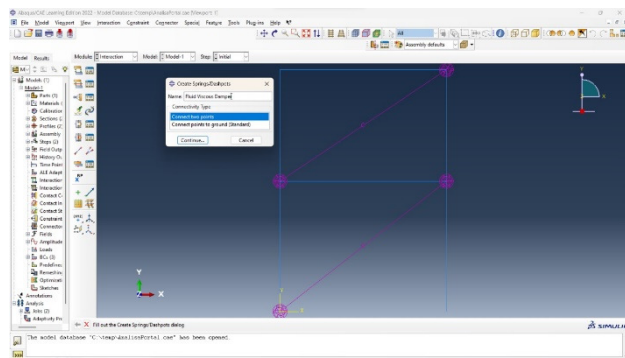
Gambar 5. Luas area disipasi energi

Pemodelan Finite Element Method



Gambar 6. Pemodelan portal dengan FEM

Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu portal dua lantai dengan struktur baja dan perletakan jepit. Selain dengan model *fixed base*, dilakukan juga pemodelan portal dua lantai dengan menggunakan *Fluid Viscous Damper* sebagai pembandingnya.



Gambar 7. pemasangan FVD

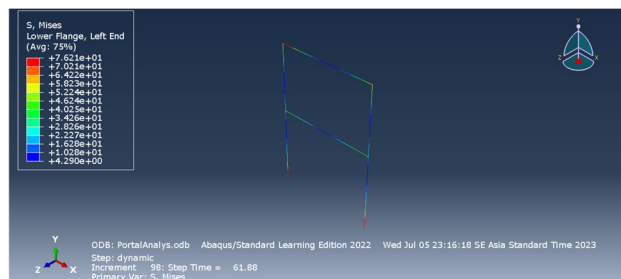
Pemasangan FVD pada program ABAQUS dapat dilakukan pada menu *interaction* dan pilih *spring/dashpot* pada pilihan *special*, lalu masukkan titik FVD dan juga koefisien FVD.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

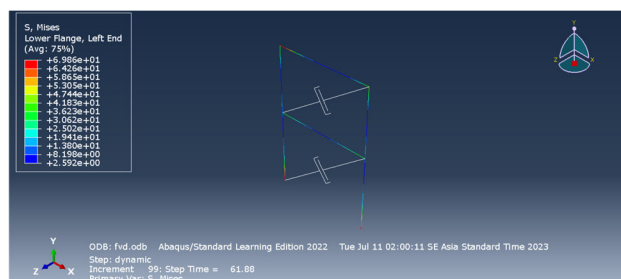
Hasil dari penelitian di paparkan dalam beberapa bagian yaitu (1) Tegangan pada struktur, (2) *Reaction Force* yang terjadi pada model struktur, (3) *Displacement* terhadap waktu (4), *Hysteresis loop*, (5) Daktilitas struktur, (6) Disipasi energi struktur.

Tegangan Pada Struktur

Terdapat perbedaan tegangan yang terjadi pada model *fixed base* dengan model struktur dengan FVD saat terjadi gempa yang dapat dilihat pada Gambar 8. dan Gambar 9.



Gambar 8. Tegangan pada model struktur *fixed base*

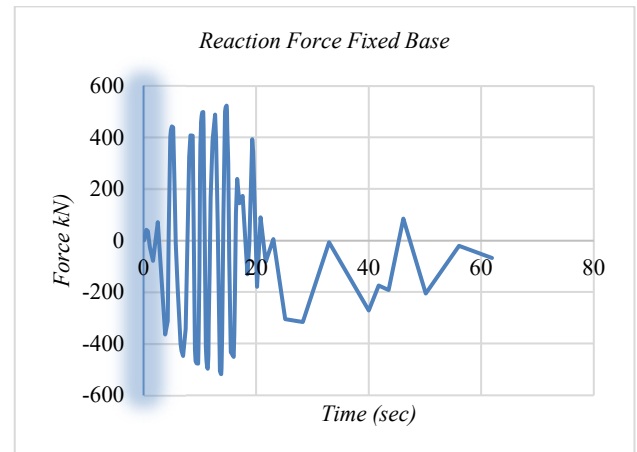


Gambar 9. Tegangan pada model struktur dengan FVD

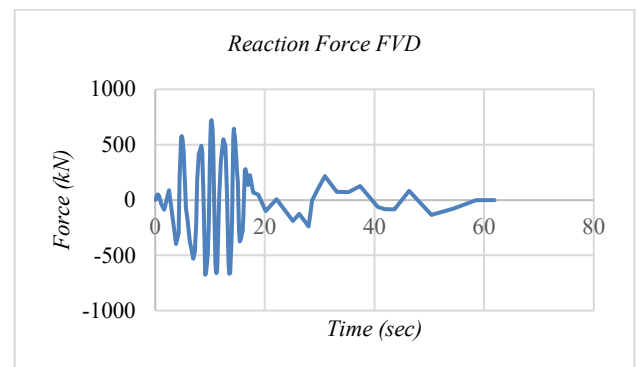
Tegangan terbesar pada model bangunan *fixed base* yaitu sebesar 76.210 MPa. Sedangkan pada tegangan terbesar pada model bangunan dengan FVD yaitu sebesar 69.860 MPa. Tegangan pada model struktur dengan FVD lebih kecil karena gaya yang bekerja pada FVD mampu meredam tegangan yang terjadi pada struktur.

Reaction Force yang Terjadi Pada Struktur

Reaction force yang terjadi antara struktur *fixed base* dengan yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* (FVD) terdapat perbedaan akibat gaya yang dihasilkan oleh sistem *Fluid Viscous Damper* (FVD). Grafik perbandingan *reaction force* antara *fixed base* dengan yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* (FVD) dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

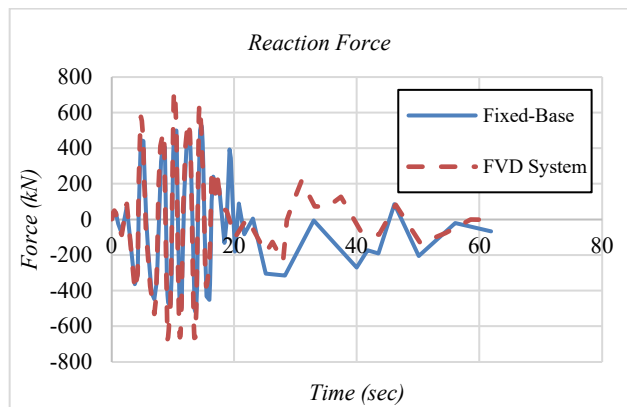


Gambar 10. *Reaction Force* pada model struktur *fixed base*



Gambar 11. *Reaction Force* pada model struktur dengan FVD

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 terdapat perbedaan dimana gaya yang bekerja pada struktur *fixed base*, gaya maksimal yang bekerja yaitu sebesar 524390 N pada periode ke 14.71s. Sedangkan pada struktur dengan *Fluid Viscous Damper* (FVD), gaya maksimal yang bekerja lebih besar dari struktur *Fixed base* sebesar 722281 N pada periode ke 10.31s. Grafik perbandingan *Reaction Force* dapat dilihat pada Gambar 12.

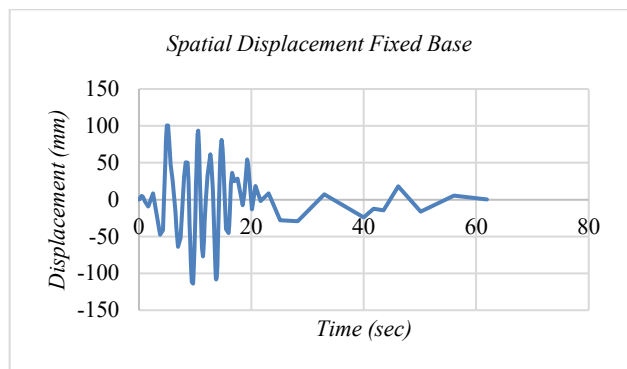


Gambar 12. Perbandingan Reaction Force

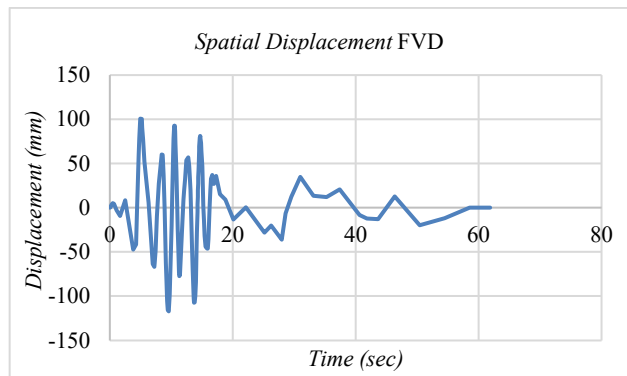
Berdasarkan perbandingan kedua grafik *reaction force* dari kedua model yang dianalisis, terlihat *reaction force* pada model setelah menggunakan FVD lebih besar dibandingkan dengan model fixed base, hal tersebut disebabkan karena pada model *fixed base*, ketika terjadi gempa *reaction force* hanya dihasilkan dari struktur baja, Sedangkan pada model dengan FVD, *reaction force* dihasilkan dari dua gaya yang bekerja secara bersamaan saat terjadi gempa baik dari struktur baja maupun dari FVD yang bekerja dengan memberi gaya yang berlawanan.

Displacement terhadap waktu

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada kedua model bangunan, terdapat perbedaan *displacement* terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

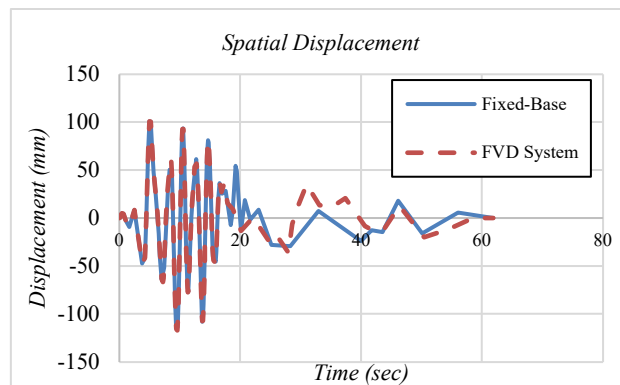


Gambar 13. *Spatial displacement* model bangunan *fixed base*



Gambar 14. *Spatial displacement* model bangunan dengan FVD

Berdasarkan Gambar 13 *displacement* maksimum yang terjadi pada model bangunan *fixed base* yaitu sebesar 113.687 mm, sedangkan pada model bangunan dengan FVD pada Gambar 14 *displacement* maksimum yang terjadi yaitu sebesar 117.171 mm. terdapat selisih sebesar 3.484 mm atau sebesar 1,50%, perbandingan *displacement* yang terjadi pada kedua model tersebut dapat dilihat pada Gambar 15.

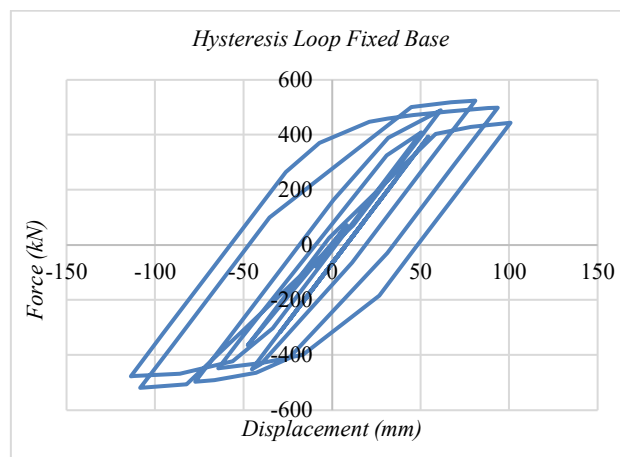


Gambar 15. Perbandingan *spatial displacement*

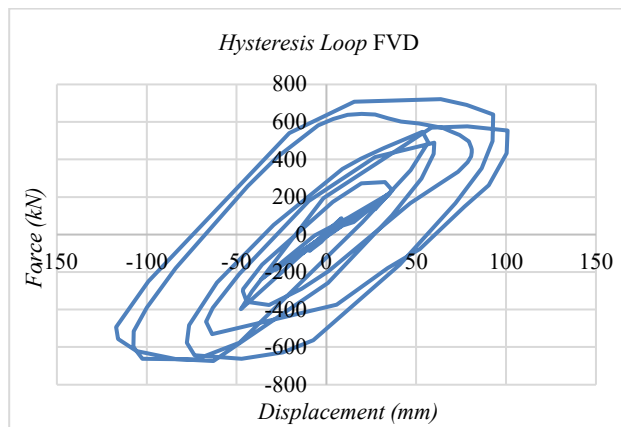
Berdasarkan Gambar 15 nilai simpangan maksimum pada model dengan FVD lebih besar karena penggunaan FVD membuat model bangunan bersifat lebih daktile tanpa adanya pengaruh *force*, jumlah deformasi yang terjadi pada model dengan FVD juga lebih sedikit dibandingkan dengan model *fixed base*. Hal tersebut terjadi karena jika tanpa pengaruh *force*, FVD mampu membuat struktur memiliki karakter lebih daktile.

Hysteresis Loop

Hysteresis loop yang didapat dari hasil analisis berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara *force* dan *displacement*, terdapat hasil *hysteresis loop* yang berbeda antara bangunan *fixed base* dengan bangunan yang menggunakan FVD yang dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. *Hysteresis loop* struktur *fixed base*

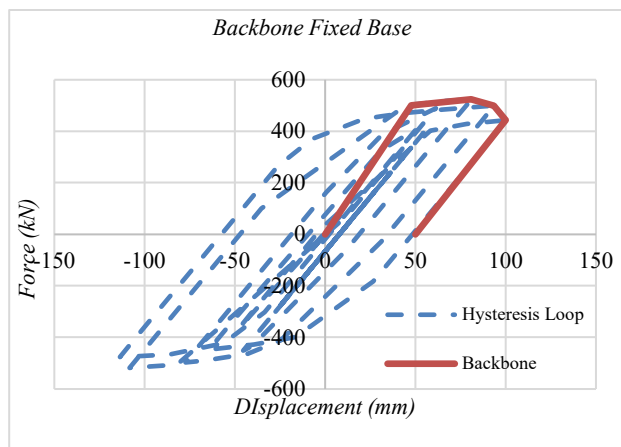


Gambar 17. Hysteresis loop struktur dengan FVD

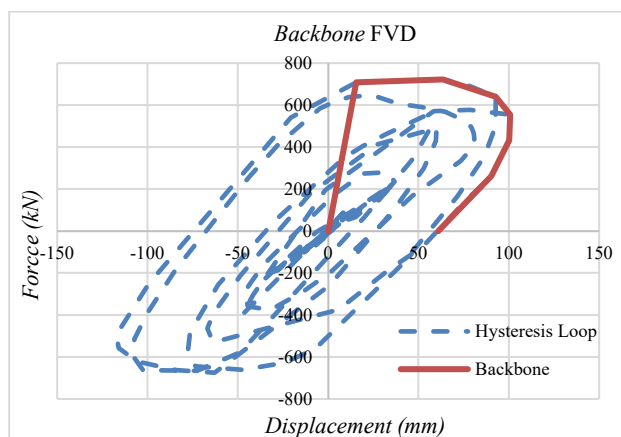
Dari dua model yang di analisis, *hysteresis loop* pada bangunan dengan FVD menghasilkan *reaction force* dan *displacement* yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan *fixed base* akibat gaya yang bekerja pada FVD.

Daktilitas Struktur

Dari hysteresis loop tersebut dapat dibuat *backbone* untuk melihat karakteristik daktilitas dari kedua bangunan tersebut seperti pada Gambar 18 dan Gambar 19.

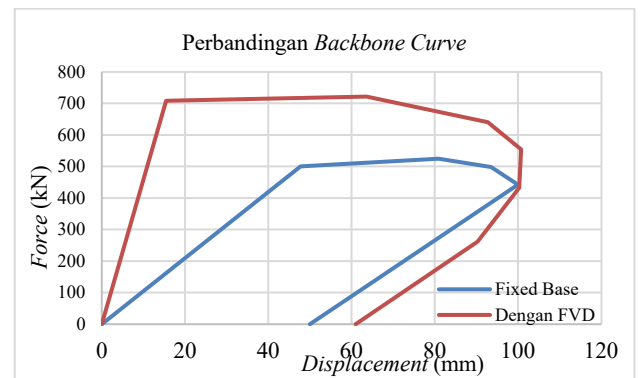


Gambar 18. Backbone curve struktur fixed base



Gambar 19. Backbone curve struktur dengan FVD

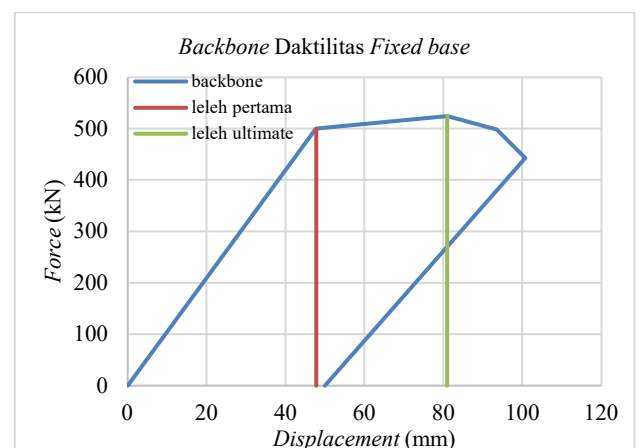
Untuk melihat perbandingan kedua *backbone curve* tersebut dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Perbandingan backbone curve

Berdasarkan FEMA 440, karakteristik dari kedua model bangunan yang digambarkan oleh kurva *backbone* pada Gambar 18, maka karakteristik kedua model bangunan tersebut bersifat semi-daktil. Namun, terdapat perbedaan karena *backbone* pada bangunan dengan FVD terlihat lebih besar akibat gaya yang bekerja pada FVD yang menyebabkan *reaction force* dan *displacement* menjadi lebih besar dibandingkan dengan model bangunan *fixed base*. Setelah menggunakan FVD, *displacement* pada model ketika terjadi leleh pertama dan kondisi ultimate lebih kecil dibandingkan dengan model *fixed base*, hal tersebut terjadi karena setelah menggunakan FVD kondisi bangunan akan lebih kaku saat terjadi gempa karena adanya gaya berlawanan yang diberikan oleh FVD.

Dari backbone tersebut dapat dihitung nilai daktilitas simpangan dari kedua model bangunan yang dianalisis setelah mengetahui kondisi leleh pertama dan kondisi leleh ultimate dari backbone tersebut, seperti pada Gambar 21 dan Gambar 22.



Gambar 21. Kurva daktilitas struktur fixed base

Daktilitas simpangan dapat dihitung sesuai dengan persamaan (1).

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dengan:

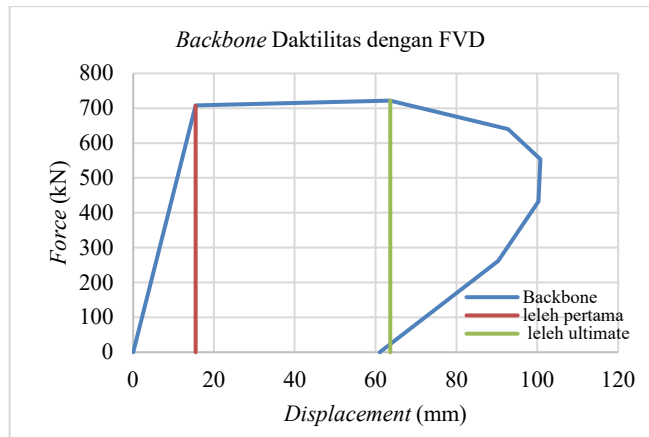
μ_{Δ} = Daktilitas Simpangan

Δu = Simpangan Kondisi Ultimate

Δy = Simpangan Kondisi leleh Pertama

Daktilitas pada model bangunan *fixed base*:

$$\begin{aligned} \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{80.956}{30.853} \\ &= 2.624 \end{aligned}$$



Gambar 22. Kurva daktilitas struktur dengan FVD

Daktilitas pada model bangunan dengan FVD:

$$\begin{aligned} \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{63.604}{15.498} \\ &= 4.104 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui pada model bangunan *fixed base*, kondisi leleh ultimate (Δu) simpangan yang terjadi sebesar 80,956 mm, dan kondisi leleh pertama (Δy) simpangan yang terjadi sebesar 30,853 mm. sehingga daktilitas simpangan pada model bangunan *fixed base* sebesar 2,624.

Pada model bangunan dengan FVD, kondisi leleh ultimate (Δu) simpangan yang terjadi sebesar 63,604 mm, dan kondisi leleh pertama (Δy) simpangan yang terjadi sebesar 15,498 mm. sehingga daktilitas simpangan pada model bangunan *fixed base* sebesar 4,104. terdapat selisih simpangan sebesar 1,48 pada kedua model tersebut.

Perhitungan persentase :

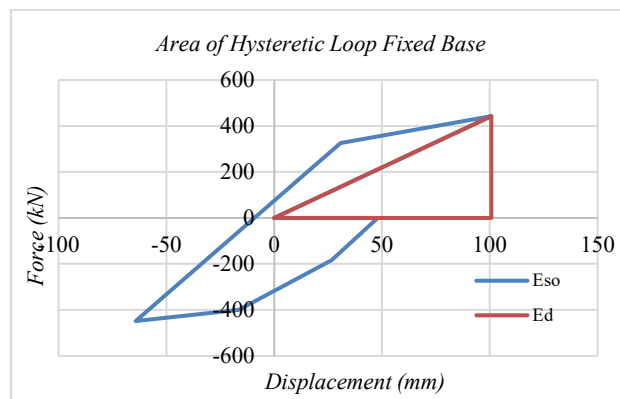
$$\begin{aligned} \text{Nilai Total} &= \frac{\text{Nilai selisih}}{\text{Nilai awal}} \times 100 \\ &= \frac{1.48}{2.624} \times 100 \\ &= 56.24\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perbandingan daktilitas kedua model bangunan tersebut, penggunaan FVD terbukti dapat membuat karakteristik suatu struktur lebih daktil sebesar 56.24%

Disipasi Energi Struktur

Luas area dihitung untuk mengetahui nilai disipasi dari kedua model bangunan yang dianalisis. Mengacu pada persamaan luas area dari *hysteresis*

loop Dapat dihitung dengan membuat kurva E_d (energi yang diserap) dan E_{SO} (regangan maksimal). Untuk area $\beta\theta$ dapat dilihat pada Gambar 23 untuk model bangunan *fixed base* dan Gambar 24 untuk model bangunan dengan FVD.

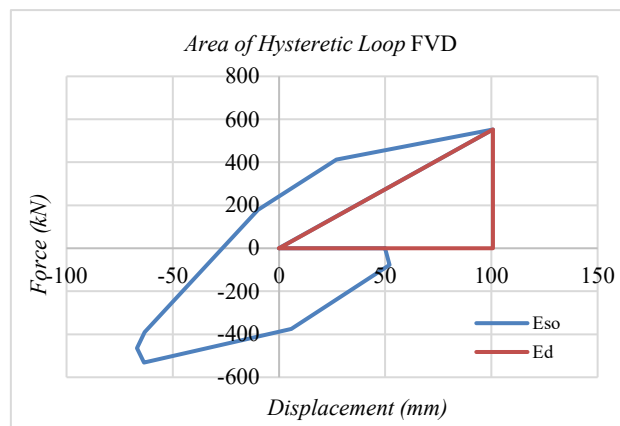


Gambar 23. Luas area disipasi energi model *fixed base*

Berdasarkan Gambar 23 didapatkan luas area untuk daerah E_{SO} sebesar 33444404,7 dan untuk luas daerah E_d sebesar 22290134,9. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\begin{aligned} \beta\theta &= \frac{1}{4\pi} \frac{E_d}{E_{SO}} \\ &= \frac{1}{4\pi} \frac{22290134,9}{33444404,7} \\ &= 0,119 \end{aligned}$$

Sehingga $\beta\theta$ untuk model bangunan *fixed base* sebesar 0,119.



Gambar 24. Luas area disipasi energi model dengan FVD

Berdasarkan Gambar 24 tentang luas area untuk model bangunan dengan FVD, didapatkan luas area untuk daerah E_{SO} sebesar 54788560,83 dan untuk luas daerah E_d sebesar 27869000,58. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \beta\theta &= \frac{1}{4\pi} \frac{E_d}{E_{SO}} \\ &= \frac{1}{4\pi} \frac{27869000,58}{54788560,83} \\ &= 0,156 \end{aligned}$$

Sehingga $\beta\theta$ untuk model bangunan *fixed base* sebesar 0,156.

Perhitungan persentase :

$$\text{Nilai Total} = \frac{\text{Nilai selisih}}{\text{Nilai awal}} \times 100$$

$$= \frac{0.0037}{0.119} \times 100$$

$$= 3.1\%$$

Selisih $\beta\theta$ antara model bangunan *fixed base* dengan model bangunan dengan FVD yaitu sebesar 0.0037 dimana penggunaan FVD dapat meningkatkan nilai disipasi energi model bangunan sebesar 3.1%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Karakteristik kedua model bangunan bersifat semi-daktil, namun terjadi perbedaan nilai daktilitas antara kedua model tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daktilitas simpangan yang terjadi pada model bangunan *fixed base* sebesar 2,624. Sedangkan daktilitas simpangan pada model bangunan Fluid Viscous Damper (FVD) sebesar 4,104. Sehingga penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) dapat meningkatkan nilai daktilitas sebesar 56.24%
- 2) Disipasi energi yang dapat dilakukan oleh model bangunan *fixed base* sebesar 0,119. Sedangkan nilai disipasi energi untuk model bangunan dengan Fluid Viscous Damper (FVD) 0,156. Sehingga penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) dapat meningkatkan disipasi energi pada model yang dianalisis sebesar 3.1%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Resti Nur Arini dan Fadli Kurnia selaku pembimbing penulis dan telah banyak membantu penulis pada penelitian ini.

REFERENSI

- Putra, A. R. (2019). STUDI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT TINGGI DENGAN SISTEM FRAME TUBE.
- Bachaki, Soelarso., Fitria, N (2018) "ANALISIS PERILAKU STRUKTUR PADA SISTEM GANDA APARTEMEN 9 LANTAI MENGGUNAKAN METODE *TIME HISTORY ANALYSIS* SESUAI PERATURAN SNI 1726:2012," Jurnal Fondasi, 7(1), 74-86,
- Khan, B. L., Usman, M., Farooq, S. H., Hanif, Azeem, A. M., Fawad, M. (2019) "Effect of near and far Field Earthquakes on performance of various," Science Direct, 18, 108-118,
- Sulardi, D. R., Basri, H. (2019). "SISTEM KONTROL BASE ISOLATION UNTUK PERENCANAAN GEDUNG TAHAN GEMPA," Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra, 2(1), 42-55,
- Wuaten, H. M. (2022). "DISIPASI ENERGI PADA KOLOM DIJACKETING DENGAN WIRE MESH DAN SELF COMPACTING CONCRETE AKIBAT BEBAN

- SIKLIK," Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil, 11(1), 55-64,
- Wiryadi, I. G., Giatmajaya, I. W., Wirawan, I. P. A. P (2021). "ANALISIS RIWAYAT WAKTU PERILAKU STRUKTUR GEDUNG SMA NEGERI 9 DENPASAR," Jurnal Ilmiah Kurva Teknik, 10(2), 43-52,
- Muzahab, L. A. (2018). "Pengaruh Pemasangan Peredam Getaran Eksternal Tipe Viscous terhadap Kinerja Struktur Gedung," Jurnal Teknik Unjani, 17(1), 36-47,
- Arifin, M., Fransisca, L., Sagara, A. (2019). "Studi Perbandingan Gedung dengan Iregularitas," Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, 3, 75 - 88,
- Arliansyah, M. F., e. a. (2023). "ANALISA FINITE ELEMENT METHOD (FEM) UJI BEBAN PADA MEJA POLYETHYLENE," Jurnal Jalasena, 4(2), 122-125,
- Pratama, M. M. A., Putri, S. D. S., Santoso, E. (2021). "Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan," Siklus : Jurnal Teknik Sipil, 7(2), 26-37,
- Araby, M. Z., Rizal, S., Afifuddin, M., Abdullah, A.. (2021). "ANALISIS PERLAKUAN JOINT BALOK KOLOM TERHADAP BEBAN SIKLIK DENGAN PENAMBAHAN SENGKANG PADA JOINT SESUAI SK SNI T-15-1991-03," Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, 4(2), 49-59,
- Hajati, N. L., Hanif, A. N., (2018). "Kajian Kinerja Struktur Gedung Simetris Menggunakan Peredam Tipe Fluid Viscous Damper," Jurnal Rekayasa Hijau, 2(2), 123-136,
- Wijaya, U., Rachmansyah., Cifriadi, S., Puspitasari., Falaah, A. F. (2021). "APLIKASI PENGGUNAAN KARET ALAM SEBAGAI ALAT PEREDAM GEMPA PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL SEDERHANA," Jurnal Penelitian Karet, 39(2), 137-150,
- Suku, Y. L., Ndale, F. X. (2019). "Analisis Tingkat Kekakuan Struktur Rangka - Dinding Geser Tanpa dan Dengan Belt Truss Pada Bangunan Tinggi Beton Bertulang Akibat Beban Lateral," TEKNOLOGI, 13(1), 26-35

