

Peran Viskos Damper pada Struktur Gedung dengan Denah Beraturan dan Tak Beraturan Terhadap Beban Gempa

**Laode Azan Muzahab, Muhammad Rizky Zulkarnaen, Muhamad Ghulam Fafaro,
Yando Rolan Sipayung, Darma Putra Andika Pratama**

Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia

Email: laodeazanmuzahab@gmail.com1, rizkyzkulkarnaen54@gmail.com2,
ghulammuhamad03@gmail.com3, rolanyando898@gmail.com4,
dputraaapratama@gmail.com5

Kata kunci	Abstrak
Fluid Viscous Damper, Time History, Struktur Gedung, Denah Beraturan, Denah Tidak Beraturan	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan fluid viscous damper (FVD) dalam meningkatkan kinerja seismik struktur gedung pada denah beraturan dan tidak beraturan. Dua model gedung beton bertulang enam lantai dimodelkan menggunakan perangkat lunak analisis dan desain struktur berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Analisis beban gempa dengan metode Respon Spektrum. FVD dipasang pada sisi luar setinggi gedung di kedua arah sumbu bangunan. Parameter yang diamati meliputi simpangan antar lantai (interstory drift), perpindahan lateral (story displacement), gaya geser tingkat (story shear), dan gaya geser dasar (base shear) dan kapasitas struktur terhadap beban gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan FVD mampu mereduksi respons seismik secara signifikan pada kedua tipe gedung. Gedung beraturan menunjukkan distribusi beban yang lebih stabil, sedangkan gedung tidak beraturan memperoleh peningkatan performa yang lebih signifikan dengan FVD. Selain itu, kapasitas struktur meningkat setelah pemasangan FVD, yang menunjukkan kemampuan struktur menyerap energi lebih besar sebelum mengalami kerusakan plastis. Oleh karena itu, FVD direkomendasikan sebagai solusi efektif dalam desain maupun retrofit bangunan tahan gempa.
Keywords: Fluid Viscous Damper, Time History, Building Structure, Regular Plan, Irregular Plan	Abstract <i>This study aims to evaluate the effectiveness of using fluid viscous dampers (FVDs) in improving the seismic performance of building structures with regular and irregular floor plans. Two six-story reinforced concrete building models were modeled using structural analysis and design software based on SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019. Seismic load analysis used the Response Spectrum method. FVDs were installed on the exterior of the building's full height in both directions of the building axis. Observed parameters included interstory drift, story displacement, story shear, and base shear, as well as the structure's seismic capacity. The analysis results showed that the use of FVDs significantly reduced the seismic response in both building types. The regular building exhibited a more stable load distribution, while the irregular building achieved a more significant performance improvement with FVDs. Furthermore, the structural capacity increased after FVD installation, indicating the structure's ability to absorb greater energy before experiencing plastic failure. Therefore, FVDs are recommended as an effective solution in the design and retrofitting of earthquake-resistant buildings.</i>



PENDAHULUAN

Bangunan gedung merupakan salah satu bentuk infrastruktur utama yang dirancang untuk menunjang berbagai aktivitas manusia, sehingga memerlukan perencanaan struktural yang matang untuk menjamin keamanan dan fungsinya (Dewobroto et al., 2017; Tavio & Suprobo, 2016). Dalam perencanaannya, struktur gedung dibagi menjadi struktur bawah seperti pondasi, yang berfungsi menyalurkan beban ke tanah, dan struktur atas yang meliputi elemen kolom, balok, pelat lantai, serta tangga (Fadillah et al., 2020). Struktur atas memiliki peran penting dalam mendistribusikan beban vertikal maupun lateral secara merata untuk menjaga stabilitas bangunan (Mulyani et al., 2019; SNI 1726:2019). Beban lateral yang signifikan seringkali berasal dari gempa bumi, yang dapat menimbulkan gaya inersia besar pada elemen struktur (Priyosulistyo & Adi, 2018). Oleh karena itu, desain struktur gedung harus memenuhi persyaratan ketahanan gempa sesuai standar perencanaan nasional dan internasional untuk meminimalkan risiko keruntuhan (Paulay & Priestley, 1992; Setiawan, 2016).

Dalam merencanakan bangunan gedung bertingkat di kawasan kota-kota modern, pemilihan bentuk desain yang artistik, indah, dan elegan menjadi kebutuhan penting (Berliana, 2024), tidak hanya untuk memberikan kontribusi estetika pada lanskap kota, tetapi juga untuk menarik minat pengunjung sehingga meningkatkan nilai jual dan pemanfaatan bangunan (Ching, 2014; Elrahman & Asaad, 2020). Namun, desain arsitektural yang mengutamakan keindahan sering kali menghasilkan bentuk denah yang tidak beraturan atau *irregular plan*, yang memiliki implikasi serius terhadap kinerja struktur, khususnya pada saat terjadi gempa (Pektaş & Karaesmen, 2021). Denah yang tidak beraturan dapat menimbulkan distribusi massa dan kekakuan yang tidak merata, memicu efek torsi berlebihan pada struktur (Taranath, 2016; Chopra, 2012). Efek torsi ini terbukti menjadi salah satu penyebab utama kerusakan struktural pada bangunan tinggi di wilayah rawan gempa (Rutenberg & Levy, 2004). Oleh karena itu, perencanaan desain arsitektural harus mempertimbangkan prinsip ketahanan gempa, termasuk pengendalian bentuk dan simetri denah, untuk meminimalkan potensi bahaya struktural akibat beban lateral yang tidak seimbang (FEMA, 2020).

Perkembangan teknologi rekayasa struktur telah mendorong implementasi berbagai sistem peredam energi untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap beban gempa. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan adalah *fluid viscous damper* (FVD), yaitu peredam pasif yang bekerja dengan menyerap energi dinamis gempa dan mengubahnya menjadi panas melalui gesekan fluida viskositas tinggi (Soong & Dargush, 1997). FVD terbukti mampu mengurangi respons dinamis bangunan seperti simpangan antar lantai (*interstory drift*), percepatan lantai, dan gaya dalam elemen struktur (Takewaki, 2010). Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas pemasangannya, baik pada bangunan baru maupun dalam program retrofit (Miyamoto & Gilani, 2020).

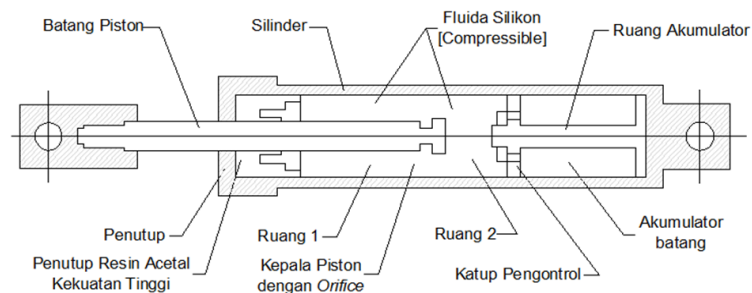
Namun, efektivitas FVD dalam meredam gaya seismik dipengaruhi oleh konfigurasi geometris bangunan, atau ketidak beraturan denah bangunan. Bangunan dengan denah beraturan cenderung memiliki distribusi massa dan kekakuan yang seimbang, sehingga mampu mendistribusikan gaya gempa secara merata dan meminimalkan torsi yang timbul (Shahmohammadian et al., 2017). Sebaliknya, denah tidak beraturan lebih rentan terhadap konsentrasi gaya dan kerusakan lokal (Verma & Vyas, 2022). Oleh karena itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan FVD pada bangunan gedung dengan

karakteristik denah yang beraturan dan tak beraturan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas FVD pada bangunan gedung dengan dan tanpa FVD, baik pada denah beraturan maupun denah tidak beraturan. Model struktur yang digunakan berupa gedung beton bertulang enam lantai. Simulasi dilakukan dengan memasang FVD pada sisi luar bangunan setinggi gedung di kedua sumbu bangunan. Pada analisis struktur, beban gempa didasarkan pada SNI 1726:2019, dan detailing elemen struktur merujuk pada SNI 2847:2019. Metode analisis beban gempa digunakan metode respon spektrum. Parameter yang dianalisis mencakup *story displacement*, *interstory drift*, *story shear*, *base shear* dan *respon time history*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain struktur tahan gempa yang lebih efisien dan adaptif, terutama di wilayah rawan gempa seperti Indonesia.

Sifat Mekanis Fluida Viscous Damper (FVD)

Peralatan *Fluid Viscous Dampers (FVD)* terdiri dari piston yang terdapat dalam tabung yang berisi silikon atau oli. Disipasi energi berlangsung melalui mekanisme pergerakan piston dalam cairan fluida kental (*viscous*). Konstanta redaman ditentukan dengan mengatur lubang pada kepala piston, seperti diilustrasikan pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Component Viscous Damper

Gaya peredam yang dihasilkan oleh *Viscous Damper* dinyatakan dalam persamaan:

$$F_D = C \cdot |\dot{u}|^\alpha \cdot \text{sgn}(\dot{u}) \quad (1)$$

Keterangan :

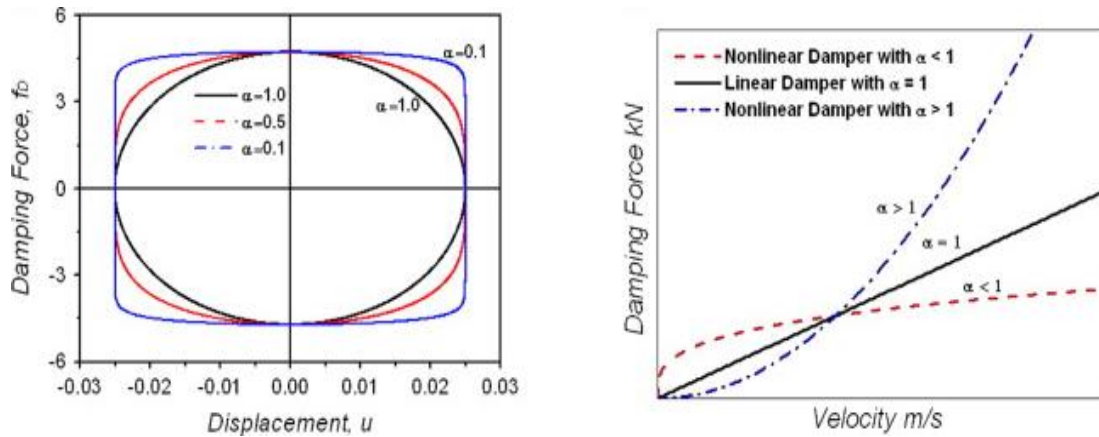
C = Koefisien redaman

α = Parameter eksponensial dari damper

u dan $\dot{u}$ = Pindahan dan kecepatan antara ujung-ujung damper.

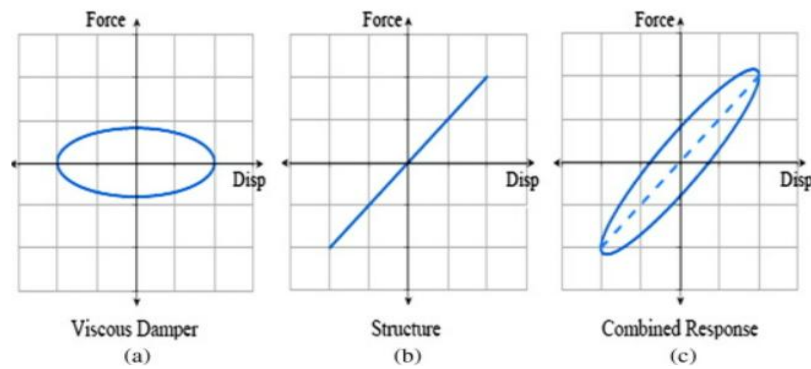
$\text{sgn}(\dot{u})$ = fungsi *sign* $\dot{u}$

Telah ditunjukkan bahwa gaya reaksi pada *Damper viscous* bekerja dalam kondisi yang baik jika parameter eksponen sial (α) pada persamaan diatas, berada pada kisaran $0,1 < \alpha < 0,3$ dan kecepatan gerak ujung-ujung damper berada dalam rentang $(0 - 0.3)$ m/s. (Taylor, 2007). Sebagai gambaran tentang karakteristik damper yang ditunjukkan melalui hubungan antara gaya viscous yang dihasilkan dengan perpindahan ujung-ujung damper untuk berbagai nilai α , diilustrasikan pada gambar 2:



Gambar 2. Hubungan Gaya dan perpindahan pada damper dan Hubungan gaya dan kecepatan dari tipikal FVD (Ras, A. & Boumechra N., 2016)

Adapun hubungan gaya dan perpindahan distruktur yang dipasang *damper viscous*, akan membentuk respon *Viscoelastic* hal ini terjadi karena total respon gaya pada struktur merupakan gabungan dari gaya akibat kekakuan struktur dan gaya akibat redaman *viscous* dari alat peredam. Respon tersebut seperti yang dinyatakan pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Hubungan gaya dan perpindahan untuk struktur dengan *viscous damper* (Ras, A. & Boumechra N., 2016)

Damping Ratio Struktur dari konstribusi Viscous Damper

Pada struktur *Multy Degree of Freedom (MDOF)* yang dipasang sejumlah *Damper Viscous*, total *damping ratio efektif* system struktur didefinisikan sebagai:

$$\xi_{\text{eff}} = \xi_0 + \xi_d \quad (2)$$

Hal mana ξ_0 damping ratio struktur tanpa dumper, dan ξ_d damping ratio strukrur dari konstribusi sebanyak j damper, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\xi_d = \frac{\sum W_j}{2\pi W_k} \quad (3)$$

Sedangkan jumlah energy yang di disipasi oleh sebanyak j damper di struktur dinyatakan pada persamaan (5):

$$\sum_j W_j = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \varphi_{rj}^2 \cdot \cos^2 \theta_j \quad (4)$$

Dan starin energi elastis dari struktur W_k dinyatakan oleh persamaan (6):

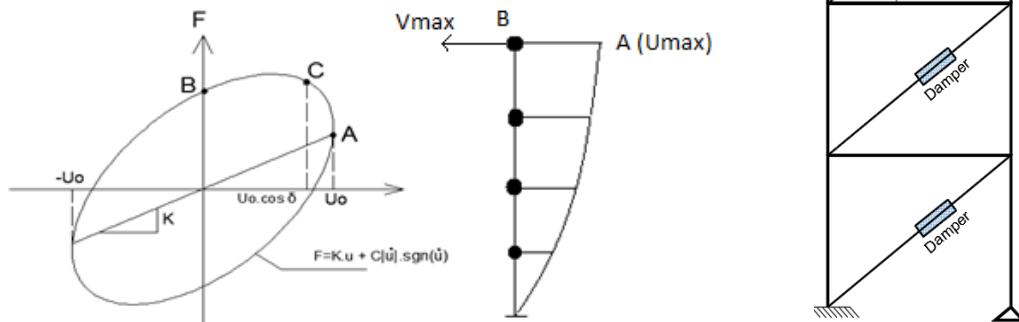
$$W_k = \Phi_1^T [K] \Phi_j = \Phi_1^T \omega^2 [m] \Phi_1 \quad (5)$$

$$= \sum_i \omega^2 m_i \Phi_i^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \Phi_i^2$$

u_j adalah perpindahan aksial relatif antara kedua ujung damper, C_j koefisien damper ke- j dan ω_0 frekwensi fundamental struktur. $[K]$, $[m]$, Φ_i adalah matriks kekakuan, matriks masa tergroupal dan mode shape ke-1 dari system struktur, Φ_{rj} perpindahan horizontal relatif dari dumper j terkait dengan mode shape ke-1, Φ_i adalah perpindahan pada mode ke-1 pada lantai ke- i . m_i adalah masa lantai ke- i , dan θ_j adalah sudut kemiringan damper ke- j . Substitusi persamaan (5) dan (6), kedalam (4), maka damping rasio efektif struktur dengan *viscous damper* linier dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\xi_{eff} = \xi_0 + \frac{\frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \Phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{2\pi \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \Phi_i^2} = \xi_0 + \frac{T \cdot \sum_j C_j \Phi_{rj}^2}{4\pi \cdot \sum_i m_i} \quad (6)$$

Jika gaya *Viscous Damper* dan respon perpindahan struktur tidak sefase, maka untuk menentukan gaya dalam dari masing-masing elemen portal melalui prosedur analisis dinamik akan sulit diperoleh. FEMA 273 telah menyarankan perlu mengecek aksi dari komponen-komponen bangunan dalam tiga keadaan respon dinamik struktur pada aksi maksimumnya, yaitu: (1) Kondisi perpindahan maksimum (*Drift Maximum*) dinyatakan oleh titik A pada gambar 5. (2) Kondisi kecepatan maksimum dan perpindahan nol dinyatakan oleh titik B. (3) Kondisi percepatan maksimum lantai dinyatakan oleh titik C pada gambar 4:



Gambar 4. Hubungan gaya- perpindahan struktur dengan *Viscous Damper* pada respon mode ke- 1

Respon pada saat perpindahan maksimum di ilustrasikan berada pada Titik A, pada kondisi demikian maka::

1. *Modal Participation Factor* pada Mode 1

$$PF = \frac{\sum_i m_i \phi_{im}}{\sum_i m_i \phi_{im}^2} \quad (7)$$

2. Percepatan lantai ke i mode 1, A_{i1}

$$A_{i1} = PF_1 * \Phi_{i1} * S_{a1} \quad (8)$$

3. Gaya lateral ke i Mode 1, F_{i1}

$$F_{i1} = m_i * A_{i1} \quad (9)$$

Respon pada saat kecepatan maksimum diilustrasikan pada Titik B, pada kondisi demikian, maka:

1. Perpindahan Lantai

$$\Delta_{i1} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 * A_{i1} \quad (10)$$

2. Kecepatan Antar Ujung Damper

$$\nabla_{di1} = \left(\frac{2\pi}{T}\right) * \Delta_{i1} * \cos \theta_i \quad (11)$$

3. Gaya Pada Damper

$$F_{di1} = n * C_i * \nabla_{di1} \quad (12)$$

4. Komponen Horizontal Gaya pada Damper

$$V_{di1} = F_{di1} * \cos \theta_i \quad (13)$$

Respon pada saat percepatan maksimum diilustrasikan pada pada Titik C, pada kondisi demikian maka:

1. Percepatan Maksimum Lantai

$$A_{max,i1} = (CF_1 + 2\xi_{eff} \cdot CF_2) A_{i1} \quad (14)$$

2. Geser Tingkat Maksimum

$$V_{max,i1} = CF_1 * V_{i1 \max \text{ disp}} + CF_2 * V_{di1 \max \text{ vel}} \quad (15)$$

Koefisien-koefisien CF1 dan CF2 ditentukan dari persamaan :

$$CF_1 = \cos\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} \quad (16)$$

$$CF_2 = \sin\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} \quad (17)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan fluid viscous damper (FVD) pada struktur Gedung. Pemodelan struktur dilakukan dengan perangkat lunak SAP-2000. Analisis struktur dilakukan terhadap dua tipe bangunan enam lantai dengan denah beraturan dan tak beraturan. Dimensi elemen ditentukan secara trybutary area mengacu pada SNI 2847:2019. Seluruh struktur dimodelkan sebagai sistem beton bertulang. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode dinamik respon spektrum sesuai SNI-1726-2019. Penentuan beban mati dan hidup mengacu pada SNI-1727-2020. Struktur mendapat kombinasi beban ultimit. Kategori desain seismik bangunan adalah tipe D, dengan faktor kuat lebih $\Omega_0 = 3,0$, factor reduksi $\rho = 1$, dan faktor modifikasi respon $R=8$. Dari hasil analisis beban diperoleh luas tulangan pada elemen. Konfigurasi tulangan pada elemen, dimensi elemen, serta posisi damper pada struktur dinyatakan pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 1. Dimensi Elemen Struktur

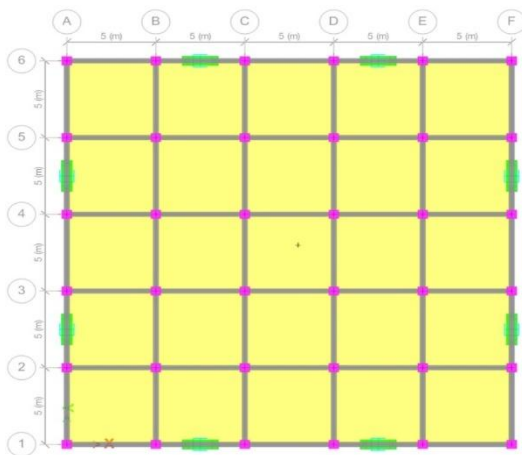
No	Elemen Struktur	Dimensi	Material beton	Material tul-baja
1	Kolom	550 mm x 550 mm	fc'30 Mpa	$D \leq 12\text{mm}$, $f_y = 280 \text{ Mpa}$
2	Balok	450 mm x 350 mm		$D > 12\text{mm}$, $f_y = 360 \text{ Mpa}$
3	Pelat	120 mm		

Tabel 2. Konfigurasi tulangan dari hasil analisis

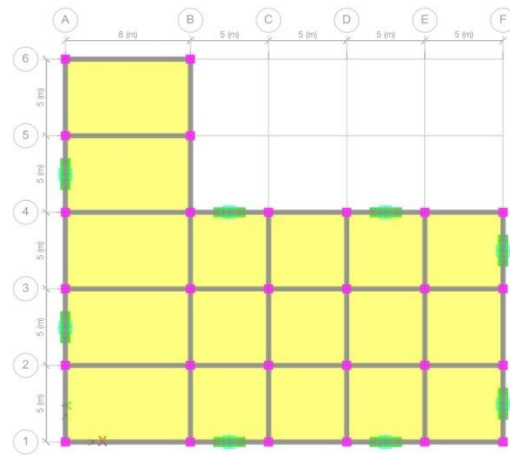
Balok Pinggir	Balok Tengah	Kolom
---------------	--------------	-------

Peran Viskos Damper pada Struktur Gedung dengan Denah Beraturan dan Tak Beraturan Terhadap Beban Gempa

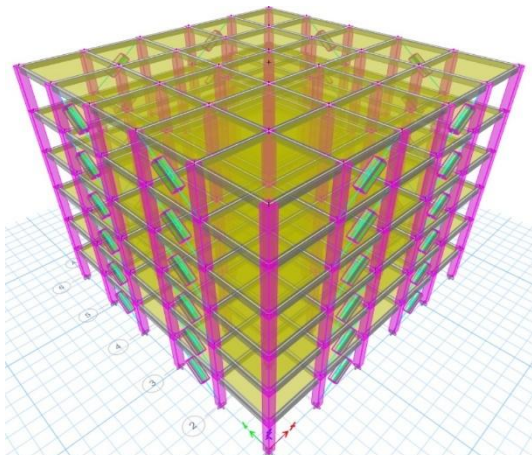
Lantai	Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan	Tulangan tumpuan	Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan	Tulangan Tumpuan	Posisi Tulangan Balok	
1	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19	Atas	12D22
	2D19	3D19	2D19	2D19	2D19	2D19	Bawah	
2	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19	Atas	12D22
	2D19	3D19	2D19	2D19	3D19	2D19	Bawah	
3	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19	Atas	12D22
	2D19	3D19	2D19	2D19	3D19	2D19	Bawah	
4	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19	Atas	12D22
5	2D19	3D19	2D19	2D19	3D19	2D19	Bawah	
	2D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19	Atas	12D22
6	2D19	3D19	2D19	2D19	2D19	2D19	Bawah	
	2D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19	Atas	12D22
	2D19	3D19	2D19	2D19	2D19	2D19	Bawah	



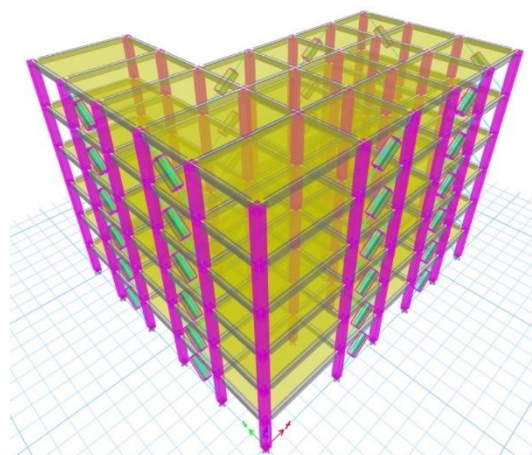
Gambar 5a. Penempatan FVD pada Denah Gedung Beraturan



Gambar 5b. Penempatan FVD pada Denah Gedung Tidak Beraturan



Gambar 6a. Penempatan FVD pada Denah Gedung Beraturan 3D



Gambar 6b. Penempatan FVD pada Denah Gedung Tidak Beraturan 3D

Setelah tahapan analisis dilakukan yang sudah memenuhi syarat kemudian dilakukan desain elemen. Disain ini untuk mendapatkan luas dan konfigurasi tulangan terpasang, seperti dinyatakan pada tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Koefisien dan kekakuan aksial Redaman Viscous

Nilai koefisien redaman (C) yang akan digunakan pada Damper Viscous didasarkan pada analisis struktur tanpa Damper. Diperoleh data berikut : Mode Shape (Φ 1), Drift Modal (ϕ 1), sudut Bresing Damper (θ), dan masa setiap lantai (mi), tabel 3 berikut:

Tabel 3. Perhitungan paramater FVD Gedung Beraturan Tipe (A)

Lantai	Massa kN	cos θ	Periode Mode 1 (s)	Mode Shape { Φ } Mode 1	Drift Modal antar lantai { ϕ }1	{ Φ } ²	(cos θ) ² { ϕ }1 ²	mi ² { ϕ }1 ³
Story6	3065,5440	0,796		1,000	0,084	1,000	0,004	3065,544
Story5	3937,1279	0,796		0,916	0,137	0,839	0,012	3304,546
Story4	3937,1279	0,796		0,780	0,193	0,608	0,024	2392,298
Story3	3937,1279	0,796	0,95	0,587	0,230	0,345	0,033	1356,411
Story2	3937,1279	0,796		0,357	0,230	0,128	0,033	502,185
Story1	3937,1279	0,796		0,127	0,127	0,016	0,010	63,832
Total							0,117	10684,815

Damping efectif ratio dari struktur direncanakan mencapai 30% koefisien redaman pada denah gedung beraturan ditentukan dari persamaan dibawah sebagai berikut:

$$C = \frac{\xi d \times 4\pi \times 10684,815}{4 \times 0,95 \times 0,117} = 905.807 \text{ kN} \times \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

Selanjutnya diperhitungkan nilai gaya pada damper dengan persamaan dibawah:

$$F = 905.807 \times 0,802^1 \\ = 726.367 \text{ kN}$$

Dengan spesifikasi pada katalog Taylor device inc. diambil taylor model number 17140 dengan nilai maxwell stiffnes (Kd) = 1400 kips/in = 164688 kN/m, kemudian perlu diperhitungkan nilai kekauan batang aksial damper (Kb) dengan parameter dimensi dari FVD, selanjutnya data ini digunakan untuk menghitung nilai kekakuan total (k*d) sebagai berikut:

$$K_b = \frac{0,0167 \times 200000}{6,280} = 533159,480 \text{ kN/m}$$

$$\frac{1}{K_d^*} = \frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_b}$$

$$\frac{1}{K_d^*} = \frac{1}{164688} + \frac{1}{533159,480}$$

$$K_{d^*} = 125822.577 \text{ kN/m}$$

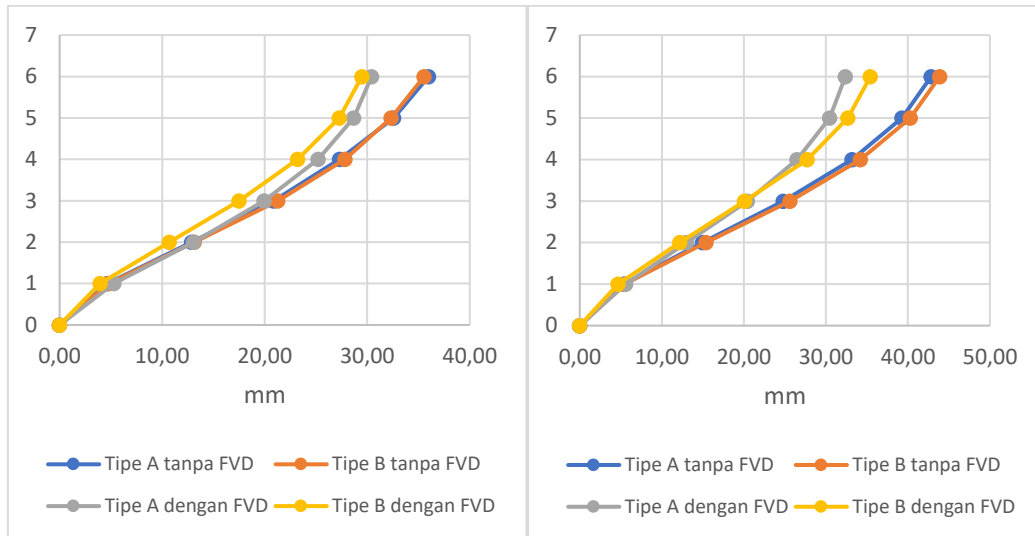
Tabel 4. Parameter FVD Denah Gedung Beraturan

<i>Damping Exponent</i>	<i>α</i>	1	
<i>Damping Coefficient</i>	<i>C_d</i>	905,807	kN
<i>Gaya izin Max Damping</i>	<i>F_D</i>	726,367	kN
<i>Maxwell Stiffness</i>	<i>K_d[*]</i>	125823	kN/m
<i>Sudut Posisi Damper</i>	θ	0,796	rad
		0,796	rad
<i>Jarak Antar Kolom</i>	Arah X	5	m
	Arah Y	5	m

Setelah diperoleh parameter damper yang digunakan, kemudian pada gedung dengan denah beraturan dan tak beraturan di pasang damper dengan parameter tersebut, lalu melihat respon dinamik dari gedung tersebut.

Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur

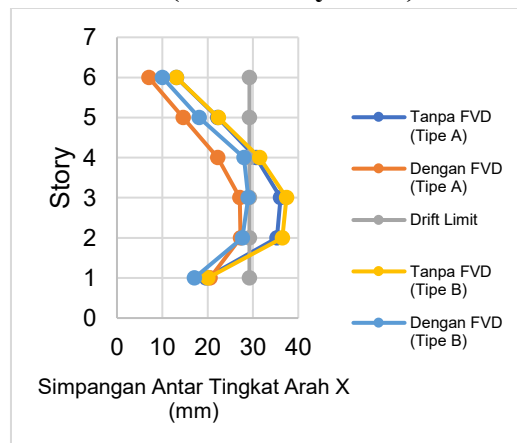
Membandingkan nilai perpindahan lantai tingkat struktur tanpa dan dengan damper untuk arah X dan Y.



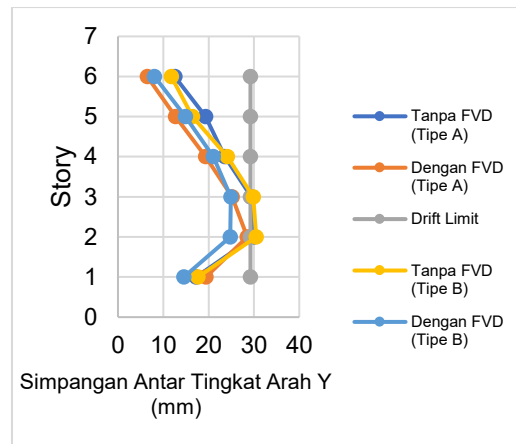
Gambar 7. Displacement Arah X dan Y

Dari hasil analisis terjadi simpangan lantai yang relatif lebih kecil pada gedung dengan denah beraturan dibanding dengan denah tak beraturan pada lantai 4, 5, dan 6. Maka dapat disimpulkan pengaruh dari bentuk denah memberikan konstribusi dalam mereduksi displacement lantai, demikian pun untuk struktur tanpa damper terjadi sedikit perbedaan dalam nilai perpindahan lateral.

Respon Perpindahan Antara Lantai (Inter Story Drift)



Gambar 8a. Simpangan Antar Tingkat Arah X (mm)



Gambar 8b. Simpangan Antar Tingkat Arah Y (mm)

Berdasarkan grafik diatas pada struktur tanpa damper, simpangan antar tingkat pada story 2, 3, dan 4 untuk arah X dan Y melampaui simpangan ijin, namun setelah di pasang damper simpangan antar lantai tingkat gedung baik arah X maupun arah Y tidak melampaui simpangan ijin, ini membuktikan bahwa damper viscous memberi konstribusi yang baik.

Respon Gaya Geser pada Damper di setiap Lantai Tingkat

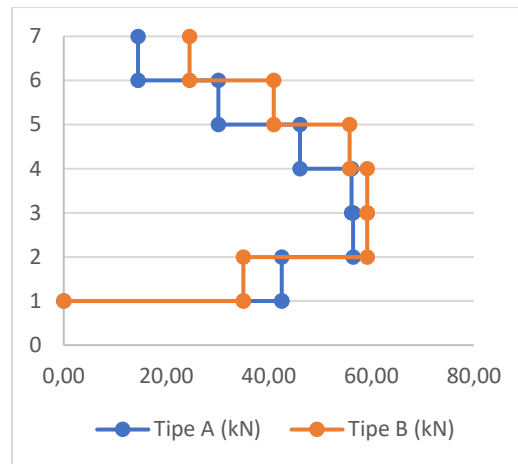
Membandingkan gaya geser yang terjadi di damper pada setiap lantai Tingkat ditunjukan pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 5. Gaya geser yang terjadi pada gedung tipe A

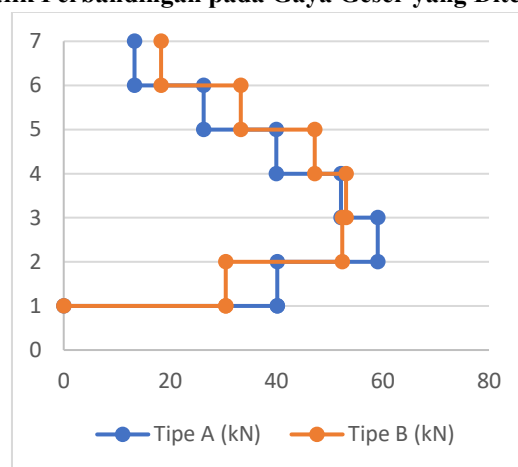
V_{i1} (kN)	F_{di1} (kN)	V_{di1} (kN)	Gaya dalam 1 Damper (kN)	CF_1	CF_2	$V_{max,i1} = CF_1 V_{i1} + CF_2 V_{di1}$ (kN)
572.87	18.24	14.52	4.56	0.857	0.514	498.699
1132.47	37.89	30.17	9.47			986.608
1488.06	57.88	46.08	14.47			1299.707
1734.70	70.53	56.15	17.63			1516.386
1900.27	70.90	56.45	17.72			1658.505
1953.11	53.38	42.50	13.35			1696.645

Tabel 6. Gaya geser yang terjadi pada gedung tipe B

V_{i1} (kN)	F_{di1} (kN)	V_{di1} (kN)	Gaya dalam 1 Damper (kN)	CF_1	CF_2	$V_{max,i1} = CF_1 V_{i1} + CF_2 V_{di1}$ (kN)
654.85	16.76	13.34	4.19	0.857	0.514	568.392
1218.87	33.03	26.29	8.26			1058.699
1611.14	50.25	40.01	12.56			1402.130
1892.52	65.51	52.15	16.38			1649.658
2177.12	74.19	59.07	18.55			1897.258
2296.01	50.49	40.20	12.62			1989.492



Gambar 9a. Grafik Perbandingan pada Gaya Geser yang Diterima FVD Arah X



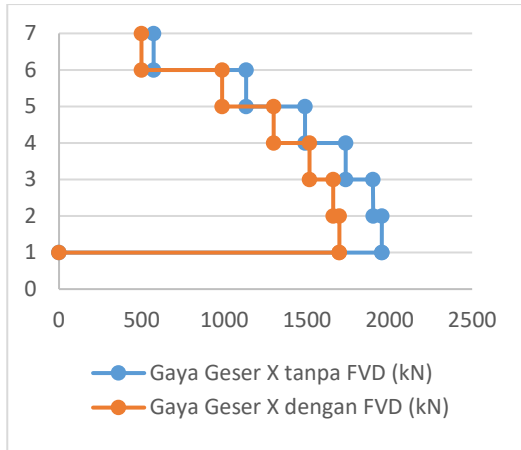
Gambar 9b. Grafik Perbandingan pada Gaya Geser yang Diterima FVD Arah Y

Dari hasil analisis gaya yang diterima damper antara denah beraturan dan denah tidak beraturan pada tinjauan lantai yang sama untuk arah X dan Y, bahwa tidak selalu gedung dengan denah beraturan selalu lebih besar dalam hal memikul gaya yang diterima damper jika disbanding dengan denah tidak beraturan. Contoh pada arah X pada lantai 1 sampai 2 gaya yang diterima damper lebih kecil untuk tipe B (denah tidak Beraturan) namun pada lantai 4, 5 dan 6 gaya yang diterima damper lebih besar untuk Denah Gedung yang tidak beraturan, yang artinya belum dapat disimpulkan gaya yang diterima damper sangat ditentukan oleh denah Gedung.

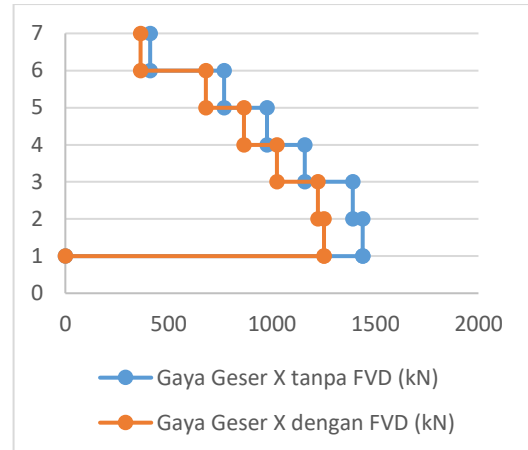
Respon Gaya Geser Tingkat Gedung.

Pertama dibandingkan Respon gaya geser tingkat antara struktur tanpa damper dengan struktur yang dipasang damper baik arah X maupun arah Y

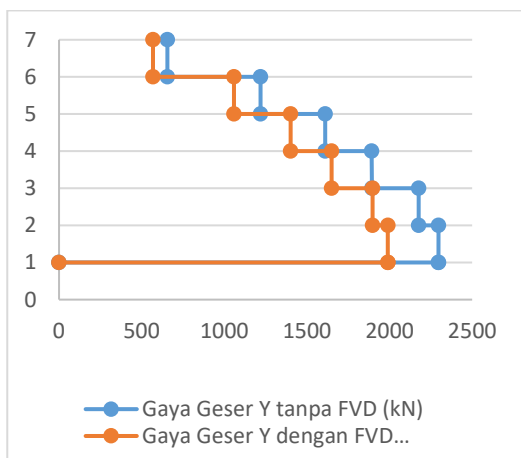
Peran Viskos Damper pada Struktur Gedung dengan Denah Beraturan dan Tak Beraturan Terhadap Beban Gempa



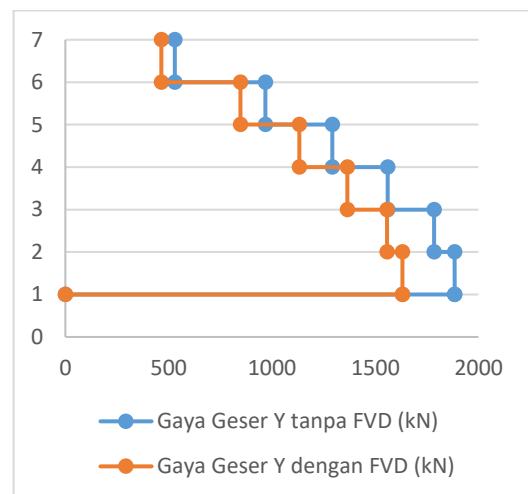
Gambar 10a. Gaya Geser Tingkat Arah X Tipe (A)



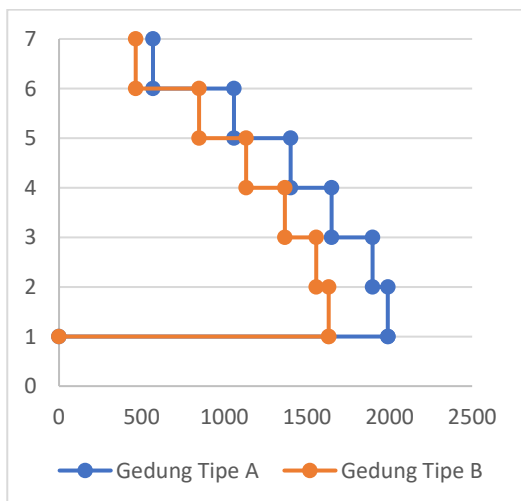
Gambar 10b. Gaya Geser Tingkat Arah X Tipe (B)



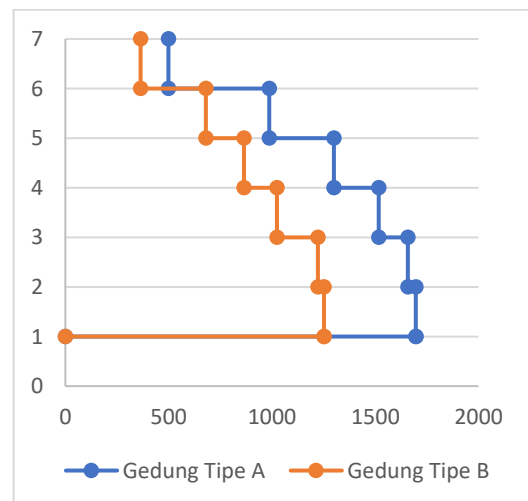
Gambar 11a. Gaya Geser Tingkat Arah Y Tipe (A)



Gambar 11b. Gaya Geser Tingkat Arah Y Tipe (B)



Gambar 12a. Perbandingan Gaya Geser Tingkat Arah Y Tipe (A) dan Tipe (B) dengan FVD



Gambar 12b. Perbandingan Gaya Geser Tingkat Arah X Tipe (A) dan Tipe (B) dengan FVD

1. Dari hasil yang diperoleh untuk gaya geser tingkat antara gedung tanpa damper dibanding gedung dengan damper menunjukkan bahwa gedung dengan damper selalu menghasilkan

gaya geser tingkat yang lebih kecil baik untuk denah beraturan maupun denah tidak beraturan, baik untuk arah X maupun arah Y. Mengecilnya gaya geser tingkat pada gedung dengan damper karena sebagian porsi gaya geser dipikul oleh damper itu sendiri.

2. Sedangkan jika dibandingkan antara kedua gedung yang sama-sama dipasang damper, menunjukkan bahwa gaya geser tingkat untuk gedung dengan denah tidak beraturan (Tipe B) selalu lebih kecil dari gedung denah beraturan (Tipe A). Temuan ini menunjukkan bahwa untuk konvigurasi denah dan konvigurasi posisi damper seperti dalam model simulasi ini, justru gaya geser tingkat akan lebih kecil pada denah tidak beraturan, hal ini karena porsi yang cukup besar dari gaya geser tingkat akan dipikul oleh damper itu sendiri sehingga porsi gaya geser tingkat menjadi lebih kecil pada denah tidak beraturan.

Rincian nilai base shear sebelum dan sesudah FVD disajikan pada Tabel 7.

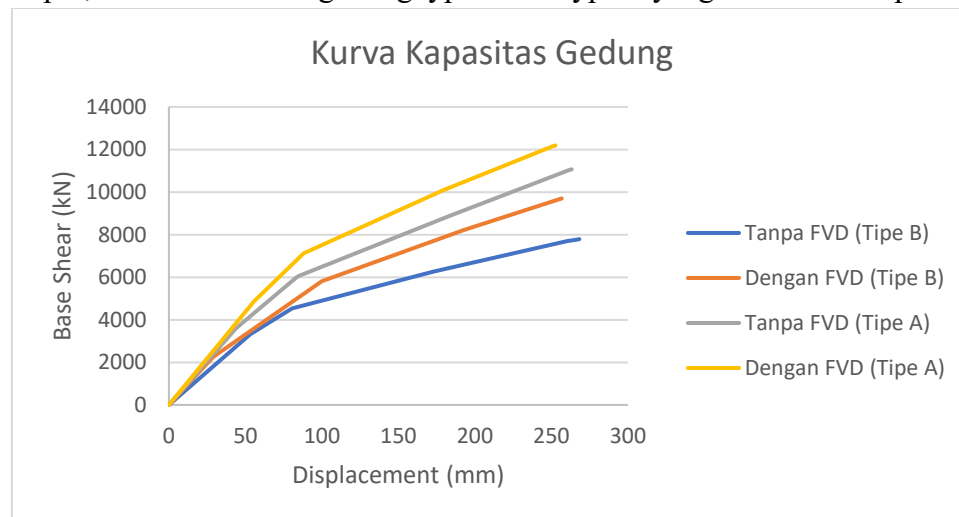
Tabel 7. Perbandingan Nilai Base Shear (kN)

Tipe Struktur	FX Tanpa FVD	FX dengan FVD	FY Tanpa FVD	FY dengan FVD
Tipe A	1977,56	2835,50	2302,89	2876,03
Tipe B	1429,48	2296,62	1890,13	2557,56

Respon gaya geser dasar (base shear) antara Gedung dengan denah beraturan dibanding denah tidak beraturan yang sama-sama dipasangin damper, selalu lebih kecil pada Gedung dengan denah tidak beraturan (type-B) baik pada arah X maupun arah Y.

Kapasitas Struktur

Kapasitas atau kemampuan struktur dianalisis berdasarkan kurva kapasitas yang dihasilkan. Pertama analisis kapasitas struktur pada gedung tanpa damper dibanding gedung dengan damper, dan kedua antara gedung type A dan type B yang sama-sama dipasang damper.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Baseshear dan Displacement Arah X dan Y

1. Pada Gedung yang dipasang damper menunjukkan terjadi peningkatan kurva kapasitas baik untuk Gedung type A maupun gedung tipe B jika dibanding tanpa damper, yang berarti penggunaan FVD mampu meningkatkan kapasitas beban lateral struktur. Struktur dengan FVD mengalami deformasi yang lebih terkendali sebelum mencapai kondisi keruntuhan.

2. Sedangkan pada Gedung yang sama-sama dipasang damper namun konfigurasi denah yang berbeda, menunjukkan bahwa Kapasitas Gedung dengan denah beraturan selalu lebih besar dari denah tidak beraturan, yang berarti penggunaan FVD dalam meningkatkan kapasitas lateral juga sangat dipengaruhi oleh bentuk denah Gedung.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa FVD efektif dalam meningkatkan performa seismik bangunan, terutama dalam mereduksi interstory drift dan gaya geser tingkat. Bentuk denah turut mempengaruhi distribusi gaya dan efektivitas redaman, di mana bangunan beraturan cenderung memberikan respon yang lebih terkontrol. FVD dapat direkomendasikan sebagai elemen tambahan dalam desain maupun retrofit bangunan di wilayah rawan gempa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) sangat berperan dalam desain struktur, terbukti dalam penggunaan FVD dapat meningkatkan kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa, baik pada gedung dengan denah beraturan maupun tidak beraturan. Penambahan FVD mampu mereduksi respons dinamis struktur secara signifikan, termasuk penurunan nilai deformasi (displacement), simpangan antar lantai (interstory drift), gaya geser tingkat (story shear), dan gaya geser dasar (base shear). Struktur yang dilengkapi dengan FVD menunjukkan perilaku deformasi lateral yang lebih baik, di mana beberapa lantai yang sebelumnya tidak memenuhi batas drift maksimum menjadi memenuhi setelah penerapan FVD. Perbandingan antara gedung dengan denah beraturan (tipe A) dan tidak beraturan (tipe B) menunjukkan bahwa struktur beraturan lebih stabil dalam mendistribusikan gaya gempa, namun tetap memperoleh peningkatan performa ketika dipasang FVD. Sementara itu, pada struktur tidak beraturan yang lebih rentan terhadap gaya torsi dan konsentrasi beban, pemasangan FVD memberikan dampak yang lebih signifikan dalam meredam respons seismik. Terbukti dari hasil analisis peran FVD dalam mereduksi baik dari deformasi (displacement), simpang antar tingkat (interstory drift), gaya geser tingkat (story shear), dan kurva kapasitas untuk denah beraturan (tipe A) lebih besar namun untuk hasil analisis terhadap gaya yang diterima FVD antara denah beraturan (tipe A) dan tidak beraturan (tipe B) dalam kasus ini, pada lantai 1 sampai 3 gaya yang diterima FVD lebih kecil untuk denah tidak beraturan (tipe B) namun, pada lantai 4, 5, dan 6 gaya yang diterima FVD untuk denah tidak beraturan (tipe B) lebih besar, yang artinya belum dapat disimpulkan gaya yang diterima FVD sangat ditentukan oleh denah gedung. Selain itu, hasil kurva kapasitas memperlihatkan adanya peningkatan kapasitas struktur setelah penerapan FVD, menandakan bahwa struktur mampu menyerap lebih banyak energi sebelum mengalami kerusakan yang bersifat plastis. Secara keseluruhan, penggunaan FVD dapat membantu struktur memenuhi standar desain berbasis kinerja sesuai ketentuan dalam SNI 1726 dan SNI 2847, sehingga teknologi ini sangat direkomendasikan untuk diterapkan, baik pada bangunan baru maupun dalam proyek retrofit bangunan eksisting di wilayah rawan gempa.

REFERENCES

- Berliana, A. T. (2024). *Neofuturisme Dalam Desain Bangunan Mixed-Use (Apartemen, Hotel, Mall, Perkantoran, Convention Hall) Untuk Menciptakan Kota Masa Depan*. Universitas Muhammadiyah Surabaya.

- Boumechra, N. R., & Ras, A. (2016). Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous damper in steel structure design. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2821–2832. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.06.007>
- Ching, F. D. K. (2014). *Architecture: Form, space, and order* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4th ed.). Prentice Hall.
- Dewobroto, W., Kusuma, G., & Hardiman, G. (2017). Analisis struktur gedung tahan gempa menggunakan metode respon spektrum. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(2), 123–132. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.2.4>
- Elrahman, O. A., & Asaad, A. M. (2020). The impact of architectural design on building performance in urban contexts. *Journal of Architecture and Urbanism*, 44(1), 45–56. <https://doi.org/10.3846/jau.2020.12345>
- Fadillah, A., Tavio, & Suprobo, P. (2020). Perencanaan struktur gedung beton bertulang tahan gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(1), 45–56. <https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.1.5>
- Federal Emergency Management Agency. (2020). *Seismic design principles* (FEMA P-749). Federal Emergency Management Agency.
- Kit Miyamoto, H., & Gilani, A. S. (2020). Seismic viscous dampers: Enhanced performance and cost-effective application of PBE.
- Mulyani, T., Wibowo, A., & Prabowo, H. (2019). Analisis distribusi beban lateral pada struktur gedung bertingkat. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(3), 201–210. <https://doi.org/10.25077/jrs.15.3.2019.201-210>
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. John Wiley & Sons.
- Pektaş, B., & Karaesmen, E. (2021). The effect of plan irregularity on the seismic behavior of buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 50(2), 345–361. <https://doi.org/10.1002/eqe.3356>
- Priyosulistyo, H., & Adi, P. (2018). Analisis kinerja struktur gedung terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 67–76. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>
- Rutenberg, A., & Levy, R. (2004). Torsional effects and irregularities in seismic design of buildings. *Engineering Structures*, 26(5), 637–650. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.09.010>
- Setiawan, A. (2016). *Desain struktur bangunan tahan gempa*. Andi Offset.
- Shahmohammadian, A., Mansoori, M. R., & Hosseini, M. H. (2017). Torsional balance of two-way asymmetric plans with optimal distribution of viscous dampers. In *COMPDYN 2017 – Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* (Vol. 2, pp. 4029–4041). <https://doi.org/10.7712/120117.5702.18091>
- Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). *Passive energy dissipation systems in structural engineering*. John Wiley & Sons.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI 1726:2019 – Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Takewaki, I. (2010). *Building control with passive dampers*. John Wiley & Sons (Asia).
- Taranath, B. S. (2016). *Tall building design: Steel, concrete, and composite systems* (2nd ed.). CRC Press.
- Verma, K., & Vyas, J. N. (2022). Seismic planning for irregular structures to avoid torsion in first two primary modes. *International Journal for Scientific Research & Development*, 10(1). <http://www.ijrsrd.com>