

PERAN *FLUID VISCOUS DAMPER* (FVD) DALAM MEREDUKSI RESPON DAN MENINGKATKAN KINERJA STRUKTUR BANGUNAN AKIBAT AKTIVITAS SEISMIK

Laode Azan Muzahab^{1*}, Rahma Aulia Putri¹, Rafi Irvana Mufid¹, Aryasatya Julian Ahmad¹, dan Mochamad Fauzi¹

¹Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jendral Achmad Yani, Jl. Terusan Jendral Sudirman, Cimahi, Indonesia

*mlaodeazan@gmail.com

Masuk: 03-05-2025, revisi: 31-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 18-08-2025

ABSTRACT

Large earthquakes can cause structural damage to civil buildings and endanger the safety of human life, so an effective mitigation system is needed. Fluid viscous damper (FVD) is one of the innovative solutions in reducing earthquake energy entering the structure. This research examines the effectiveness of FVD in reducing the response and improving the performance of building structures. The object of study is the Santika Pasir Koja Hotel building, Bandung. The analysis was conducted using numerical modeling in ETABS v22.1 with two scenarios: (1) without FVD and (2) with FVD. The parameters evaluated include floor displacement response, level shear force, base shear, structural frequency/period and structural performance level of the building based on ATC-40 and FEMA- 451. The analysis showed that FVD was able to reduce the drift by (26-62)%. The average reduction of level shear force is 39.8%, and the reduction of base shear during the plan earthquake load is 33.35%. In terms of performance, the structure with FVD reached the "Life Safety (LS)" performance level, while without FVD it was at the "Collapse Prevention (CP)" performance level. Thus, the implementation of FVD is recommended for high-rise buildings in earthquake-prone areas. Further research is recommended to optimize the damping parameters and distribution of FVD damping coefficients on more complex structures.

Keywords: Earthquake; Fluid Viscous Damper (FVD); Building response and performance

ABSTRAK

Gempa bumi yang besar dapat menyebabkan kerusakan struktural bangunan sipil dan membahayakan keselamatan jiwa manusia sehingga diperlukan sistem mitigasi yang efektif. *Fluid Viscous Damper (FVD)* merupakan salah satu solusi inovatif dalam meredam energi gempa yang masuk kedalam struktur. Penelitian ini mengkaji efektivitas FVD dalam mengurangi respon dan meningkatkan kinerja struktur bangunan Gedung. Objek kajian adalah gedung Hotel Santika Pasir Koja, Bandung. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan numerik di ETABS v22.1 dengan dua skenario : (1) tanpa FVD dan (2) dengan FVD. Parameter yang dievaluasi meliputi respon perpindahan lantai, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, frekwensi/periode struktur dan tingkat kinerja struktur yang didasarkan ATC-40 dan FEMA - 451. Hasil analisis menunjukkan bahwa FVD mampu mengurangi *drift* sebesar (26 -62)%. Rata-rata reduksi gaya geser tingkat sebesar 39,8 %, dan reduksi gaya geser dasar saat beban gempa rencana sebesar 33,35%. Dari aspek kinerja, struktur dengan FVD mencapai level kinerja "*Life Safety (LS)*", sedangkan tanpa FVD berada pada level kinerja "*Collapse Prevention (CP)*". Dengan demikian, implementasi FVD direkomendasikan untuk bangunan bertingkat di daerah rawan gempa. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengoptimalkan parameter peredam dan distribusi koefisien peredam FVD pada struktur yang lebih kompleks.

Kata kunci: Gempa bumi; *Fluid Viscous Damper (FVD)*; Respon dan kinerja bangunan

1. PENDAHULUAN

Metode konvensional dalam mengatasi energi getaran gempa yang masuk ke dalam struktur gedung, dengan melakukan desain kapasitas pada struktur gedung tersebut. Pada konsep ini, saat gempa besar terjadi diharapkan terbentuk sendi plastis di ujung-ujung balok sebagai sarana untuk mendisipasi energi gempa. Namun pembentukan sendi plastis menuntut deformasi yang besar dan daktilitas yang tinggi, sementara di sisi lain struktur gedung beton bertulang memiliki keterbatasan daktilitas. Untuk menjembatani kekurangan tersebut, dikembangkan teknik dalam mereduksi energi gempa yang masuk ke dalam struktur yaitu dengan memasang peredam getaran gempa, (Pribadi et al., 2020). Terdapat berbagai macam sistem peredam getaran gempa salah satunya *fluida viscous Damper (FVD)*. Prinsip kerja peredam ini mereduksi energi gempa melalui mekanisme pergerakan piston dalam cairan fluida kental. Metode ini akan menghasilkan gaya redaman yang sebanding dengan kecepatan gerak translasi lantai tingkat gedung,

dan jika dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya, metode ini relatif dapat mereduksi energi gempa relatif cukup besar (Şigaher & Constantinou, 2003).

Disamping hal tersebut diatas, *Fluid Viscous Damper* (FVD) dipilih sebagai alternatif yang baik karena penggunaan dan penempatannya yang relatif fleksibel dibanding dengan *bracing konvensional* dan sistem peredam yang lain dan yang terpenting adalah pembentukan sendi plastis pada elemen-elemen struktur dicegah sehingga struktur tetap pada keadaan elastis (Scholl and Miyamoto, 1998), serta tidak membutuhkan persyaratan khusus seperti *Base Isolator* yang membutuhkan persyaratan seperti tidak dapat digunakan pada klasifikasi tanah lunak (Elwardany et al., 2021).

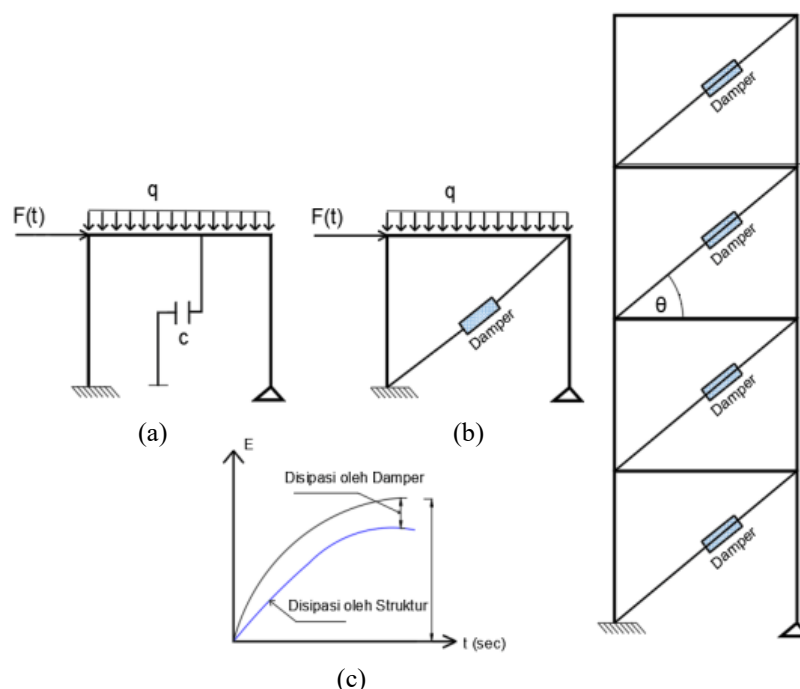
Objek Penelitian ini pada struktur gedung Hotel Santika yang berlokasi di Pasir Koja, Jl. Peta No.176, Suka Asih Kota Bandung. Gedung ini telah didesain dengan mengikuti peraturan desain terbaru, dan level kinerja gedung berada pada *Collapse prevention* (CP) mengacu pada ketentuan FEMA 451. Tujuan dilakukan Penelitian ini adalah mengkaji peran *Fluid Viscous Damper* (FVD) sebagai salah satu teknologi peredam gempa dalam mengurangi defleksi lateral, gaya geser tingkat, gaya geser dasar, periode struktur dan meningkatkan kinerja struktur jika dibanding dengan struktur gedung yang sama tanpa *fluida viscous damper* (Guo et al., 2024).

Efek penambahan peralatan peredam getaran gempa jenis *Fluida Viscous Damper* (FVD) pada sistem struktur tahan gempa dapat dijelaskan secara ilustrasi dari sisi energi (Trivedi et al., 2023). Persamaan energi absolut (Uang & Bertero, 1988):

$$E_1 = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (1)$$

dengan : E_1 = Energi gempa yang masuk, E_k = Energi kinetik struktur, E_s = Strain energi elastis, E_h = Energi hysteretik, dan E_d = Energi disipasi oleh redaman internal atau eksternal

Sisi kanan persamaan (1) adalah suplai energi yang dipasok oleh struktur dan sisi kiri adalah energi yang dibutuhkan struktur saat gempa. Agar struktur tetap bertahan saat gempa, suplai energi harus lebih besar dari pada energi yang dibutuhkan. Pada struktur yang dipasang *Viscous Damper*, kapasitas energy struktur dapat meningkat yaitu suku E_d pada persamaan (1). Ilustrasi energi pada struktur tahan gempa konvensional dan energi pada struktur ber-peredam *viscous* oleh (Takewaki, 2009) dinyatakan pada Gambar 1.

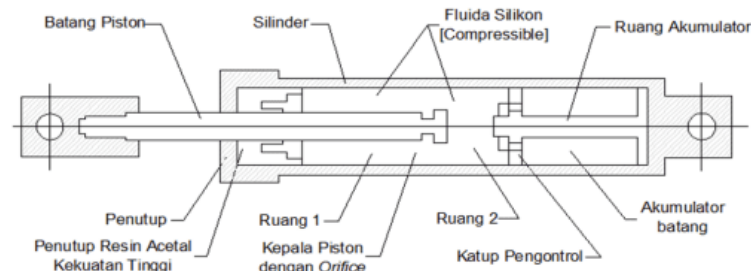


Gambar 1(a). Struktur konvensional; (b). Struktur dengan damper viscous; (c). Ilustrasi disipasi energi struktur konvensional dan berperedam eksternal viscous (Takewaki, 2009)

Sifat Mekanis Fluida Viscous Damper (FVD)

Peralatan *Fluid Viscous Dampers* (FVD) terdiri dari piston yang terdapat dalam tabung yang berisi *silicon* atau oli (Praja et al., 2022). Disipasi energy berlangsung melalui mekanisme pergerakan piston dalam cairan *viscous* (kental).

Konstanta redaman pada alat ditentukan dengan mengatur lubang pada kepala piston seperti diilustrasikan pada Gambar 2.



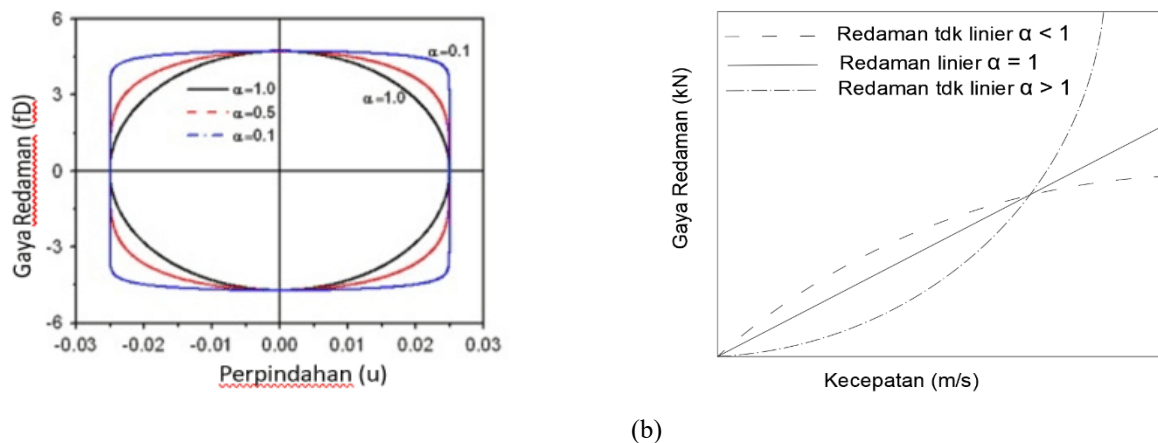
Gambar 2. Bagian-bagian redaman kental (*viscous*) (Ras & Boumechra, 2016)

Gaya peredam yang dihasilkan oleh Viscous Damper dinyatakan dalam persamaan:

$$F_D = C * |\dot{u}|^\alpha * \text{sgn}(\dot{u}) \quad (2)$$

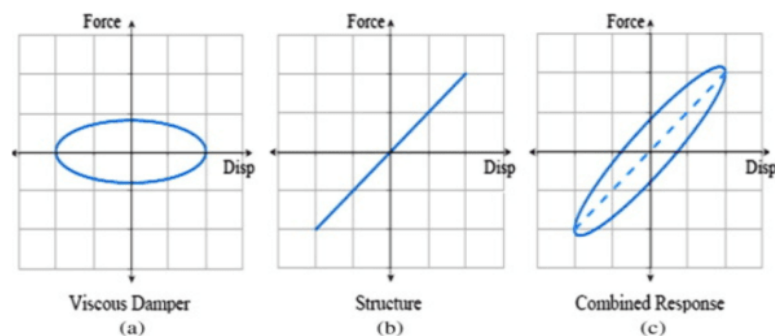
Dengan: F_D = Gaya peredam, C = Koefisien redaman, α = Parameter eksponensial dari damper, u dan $\dot{u}$ = Perpindahan dan kecepatan antara ujung-ujung damper, dan $\text{sgn}(\dot{u})$ = fungsi $\text{sign } \dot{u}$

Telah ditunjukkan bahwa gaya reaksi pada *Damper viscous* bekerja dalam kondisi yang baik jika parameter eksponensial " α " pada persamaan diatas berada pada rentang $0,1 < \alpha < 0,3$ dan kecepatan gerak translasi ujung-ujung damper berada dalam rentang $(0 - 0,3)$ m/s, (Taylor, 2007). Hubungan antara gaya viscous yang dihasilkan dengan perpindahan ujung-ujung damper untuk berbagai nilai α , diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3(a). Hubungan Gaya dan perpindahan pada damper; (b). Hubungan gaya dan kecepatan dari tipikal FVD (Ras & Boumechra, 2016)

Adapun hubungan gaya dan perpindahan pada struktur 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 4 berikut.



Gambar 4. Hubungan gaya dan perpindahan struktur yang dipasang *viscous damper* (Ras & Boumechra 2016) Pada struktur *Multy Degree of Freedom (MDOF)* yang dipasang sejumlah *Damper Viscous*, total *damping ratio efektif* system struktur didefinisikan sebagai:

$$\xi_{\text{eff}} = \xi_0 + \xi_d \quad (3)$$

Dimana: ξ_{eff} = total damping ratio efektif, ξ_0 = Damping ratio struktur tanpa damper, ξ_d = damping ratio struktur dari konstribusi sebanyak j damper, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\xi_d = \frac{\sum W_j}{2\pi W_k} \quad (4)$$

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

$$\sum_j W_j = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cdot \cos^2 \theta_j \quad (5)$$

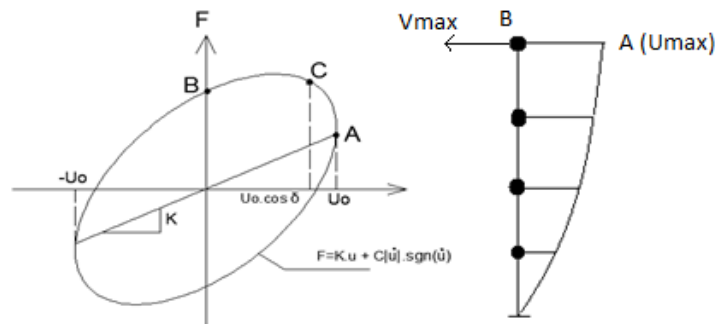
Dan starin energi elastis struktur W_k dinyatakan oleh persamaan (6) :

$$\begin{aligned} W_k &= \Phi_1^T [K] \Phi_j = \Phi_1^T \omega^2 [m] \Phi_1 \\ &= \sum_i \omega^2 m_i \Phi_i^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \Phi_i^2 \end{aligned} \quad (6)$$

u_j adalah perpindahan aksial relatif antara kedua ujung damper, C_j koefisien damper ke- j dan ω frekwensi fundamental struktur. $[K]$, $[m]$, Φ_i adalah matriks kekakuan, matriks masa tergumpal dan mode shape ke-1 pada system struktur, Φ_{rj} perpindahan horizontal relatif dari damper 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* dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\xi_{\text{eff}} = \xi_0 + \frac{\frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \Phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{2\pi \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \Phi_i^2} = \xi_0 + \frac{T \cdot \sum_j C_j \Phi_{rj}^2 \cdot \cos^2 \theta_j}{4\pi \cdot \sum_i m_i \Phi_i^2} \quad (7)$$

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



Gambar 5. 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:
Modal Participation Factor pada Mode ke-1 adalah:

$$PF = \frac{\sum_i m_i \phi_{im}}{\sum_i m_i \phi_{im}^2} \quad (8)$$

Percepatan lantai ke i mode 1, A_{i1}

$$A_{i1} = PF_1 * \Phi_{i1} * S_{a1} \quad (9)$$

lateral ke i Mode 1, F_{i1}

$$F_{i1} = m_i * A_{i1} \quad (10)$$

Respon pada saat kecepatan maksimum diilustrasikan pada titik B, pada kondisi demikian, maka:
Perpindahan lantai

$$\Delta_{i1} = \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 * A_{i1} \quad (11)$$

Kecepatan antar ujung damper

$$\nabla_{di1} = \left(\frac{2\pi}{T} \right) * \Delta_{i1} * \cos \theta_i \quad (12)$$

Gaya pada damper

$$F_{di1} = n * C_i * \nabla_{di1} \quad (13)$$

1. Komponen horizontal gaya pada damper

$$V_{di1} = F_{di1} * \cos \theta_i \quad (14)$$

Respon pada saat percepatan maksimum diilustrasikan pada pada titik C, pada kondisi demikian maka:
Percepatan maksimum lantai tingkat:

$$A_{max,i1} = (CF_1 + 2\xi_{eff} \cdot CF_2) A_{i1} \quad (15)$$

1. Geser tingkat maksimum

$$V_{max,i1} = CF_1 * V_{i1 \max \text{ disp}} + CF_2 * V_{di1 \max \text{ vel}} \quad (16)$$

Koefisie-koefisien CF_1 dan CF_2 pada persamaan (18) ditentukan dari :

$$CF_1 = \cos\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} \quad (17)$$

$$CF_2 = \sin\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} \quad (18)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pemodelan numerik berbasis elemen hingga (*Finite Element Method*). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Model struktur yang digunakan merupakan bangunan bertingkat dengan variasi konfigurasi FVD. Tahapan penelitian ini meliputi:

Studi literatur: Mengumpulkan referensi terkait peredam viskos, parameter seismik, dan metode analisis struktur.

Pemodelan struktur : Menyusun model gedung tanpa dan dengan FVD menggunakan perangkat lunak analisis struktur.

Simulasi beban gempa: Menggunakan gempa lokasi respon spektrum sebagai input dalam analisis dinamis.

Analisis hasil: Membandingkan respons struktur antara model tanpa dan dengan FVD.

Interpretasi dan Kesimpulan: Mengevaluasi efektivitas FVD dalam mereduksi perpindahan lateral, gaya geser tingkat, base shear dan kinerja struktur.

Material yang digunakan merupakan kombinasi beton bertulang dan baja tulangan.

Beton bertulang

Menggunakan kuat tekan karakteristik sebesar 30 MPa, dengan berat jenis beton (Weight per Unit Volume) sebesar 23.5631 kN/m³ dan massa jenis beton (Mass per Unit Volume) sebesar 2402.77 kg/m³

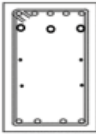
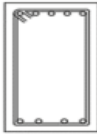
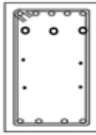
Baja tulangan

Baja tulangan dengan spesifikasi BJTS 420B, yang memiliki kuat leleh sekitar 420 MPa, Nilai modulus elastisitas 200.000 MPa ini merupakan nilai standar untuk baja tulangan.

Pada Model struktur yang dikaji, akan mendapat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa statik, serta kombinasi beban gravitasi dan beban gempa dinamik pada arah sumbu X dan Y. Parameter redaman internal diambil 5% dan jenis perilaku struktur A (bangunan baru). Analisis ragam spektrum respon menggunakan spektrum respon gempa rencana sebagai beban gempa untuk menentukan respon dinamik struktur gedung tiga dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa. Respon dinamik total struktur didapat dari hasil superposisi respon dinamik maksimum masing-masing ragamnya. Nilai parameter gempa yang digunakan dalam analisis dinamik sama dengan analisis statik. Jumlah ragam diambil 18 untuk menjamin nilai partisipasi massa ragam yang menghasilkan respon total mencapai minimal 90%, dan nilai gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana dinamik harus memenuhi ($V_d \geq V_t$). Desain struktur gedung mengacu pada peraturan terbaru, yakni: SNI 1726:2019 pembebanan gempa, SNI 1727:2020 desain beban minimum, dan SNI 2847:2019 persyaratan beton struktur untuk bangunan. Dalam pemodelan gedung faktor reduksi diambil $R = 8$, faktor pembesaran defleksi $C_d = 5,5$ dan faktor kuat lebih sistem $\Omega_0 = 3,0$ karena kategori desain seismik adalah D dan sistem penahan beban gempa masuk kategori SRPMK. Dari analisis dihasilkan dimensi dan detailing tulangan balok, kolom dan pelat. Detail tulangan yang merupakan keluaran program digunakan sebagai input model penampang, dan dengan bantuan *software* akan diperoleh grafik *Momen-Curvature*. Grafik tersebut dianalisis untuk memperoleh nilai *Property Hinge* penampang balok dengan berbagai detail tulangan tertentu.

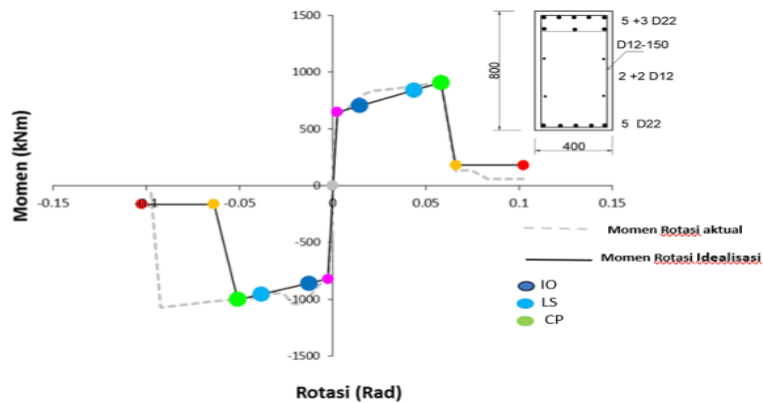
Analisis non linier

Analisis *nonlinier* dimulai dengan pemodelan sendi plastis pada penampang elemen. Pemodelan sendi plastis dilakukan dengan mendefinisikan terlebih dahulu material dan penampang pada kondisi *nonlinier*. Luas tulangan yang diperoleh dari analisis pembebanan dan gaya dalam, kemudian di konvigurasikan menjadi tulangan terpasang pada elemen struktur. Kurva tegangan-regangan material penampang beton terkekang menggunakan parameter *Mander*. Konvigurasi tulangan terpasang di penampang bertujuan untuk menginput momen rotasi sendi plastis elemen. Berikut salah satu contoh detail tulangan terpasang dan Momen – Rotasi pada balok induk lantai 4 dengan ukuran 800 x 400 mm.

	BALOK INDUK 800 X 400		
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
Gambar Penampang			
Dimensi	800 x 400	800 x 400	800 x 400
Tulangan Atas	8 D 22	4 D 22	8 D 22
Tulangan Bawah	5 D 22	6 D 22	5 D 22
Sengkang	2D12-150	2D12-250	2D12-150

Gambar 6. Konvigurasi tulangan terpasang pada elemen balok lantai 4

Berdasarkan konvigurasi tulangan terpasang pada gambar 6 di atas, dengan bantuan soft were SAP-2000 di bagian *section designer* dibuat *Momen-Curvature* penampang. Dari *momen-curvature* kemudian di rubah menjadi hubungan *Momen-Rotatsi* sendi plastis elemen. Gambar 7 di bawah ini merupakan salah satu contoh *Momen-Rotasi* elemen struktur yang bersama-sama di tampilkan dengan level kinerja berdasarkan rotasi sendi plastis penampang elemen sesuai FEMA 451.

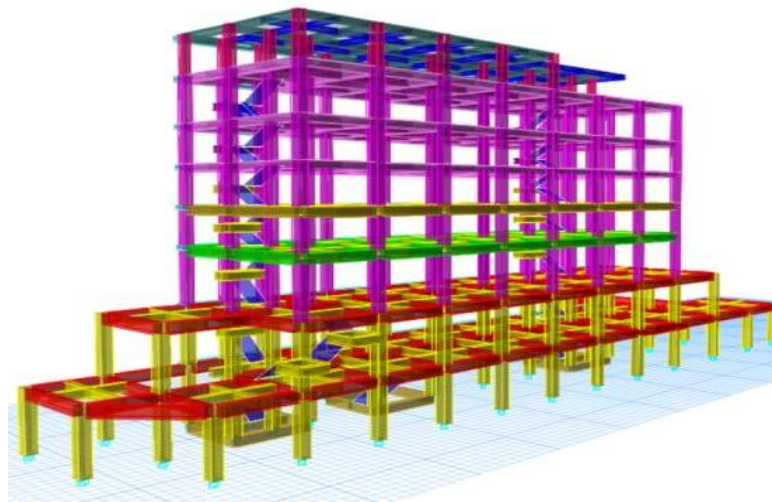


Gambar 7. Hubungan momen-rotasi salah satu elemen struktur, yaitu balok induk lantai 4

Untuk elemen-elemen yang lain di struktur, juga dilakukan pemodelan momen-rotasi sendi plastis seperti contoh diatas. Dalam tahap pertama dilakukan analisis pushover, nilai *Property Hinge* sesuai dengan penampang yang telah didefinisikan. Model mendapat beban gempa respon spektra gempa wilayah Cimahi tanah sedang. Beban gravitasi menjadi input *Load-control pushover* dan beban lateral gempa monotonik ditingkatkan sampai simpangan atap struktur mencapai nilai tertentu (*Displacement-Control*). Tahap selanjutnya dilakukan analisis pushover pada gedung ber-peredam *viscous*. Hasil analisis *pushover* kemudian dibandingkan untuk memperoleh informasi perbedaan tingkat kinerja dan respon dari kedua model gedung. Disain dimensi dan detailing tulangan balok, kolom dan pelat mengacu pada SNI 2847:2019 dengan nilai faktor reduksi yang digunakan dalam proses desain disesuaikan, yaitu: ϕ (tarik lentur) = 0,8. ϕ (tarik terkekang) = 0,7. ϕ (tekan spiral) = 0,75. ϕ (geser) = 0,65. Dimensi elemen dinyatakan pada Tabel 1, sedangkan model 3D gedung, dapat dilihat seperti pada Gambar 8 di bawah ini.

Tabel 1. Ukuran elemen balok-kolom dan panjang kolom

No	Elemen Struktur	Dimensi (mm)		Panjang kolom
		Tinggi	Lebar	
1	Kolom lt Dasar	800	800	5000
	kolom lt 1	800	800	5000
	kolom lt 2	700	700	5000
	kolom lt 3	700	700	3400
	kolom lt 4	700	700	3400
	kolom lt 5	700	700	3400
	kolom lt 6	700	700	4000
	kolom lt 7	600	600	3400
2	Balok Induk lt Dasar	-	-	5000
	Balok Induk lt 1	800	600	5000
	Balok Induk lt 2	800	600	5000
	Balok Induk lt 3	800	500	3400
	Balok Induk lt 4	800	400	3400
	Balok Induk lt 5	600	400	3400
	Balok Induk lt 6	600	400	4000
	Balok Induk lt 7	500	300	3400
3	Balok anak lt Dasar	-	-	5000
	Balok anak lt 1	700	400	5000
	Balok anak lt 2	700	400	5000
	Balok anak lt 3	700	400	3400
	Balok anak lt 4	700	400	3400
	Balok anak lt 5	500	250	3400
	Balok anak lt 6	500	250	4000
	Balok anak lt 7	400	250	3400



Gambar 8. Tampak 3D model dan denah lantai 3-6

Beban gempa respon spektra sesuai lokasi struktur gedung dinyatakan pada Gambar 9 berikut:

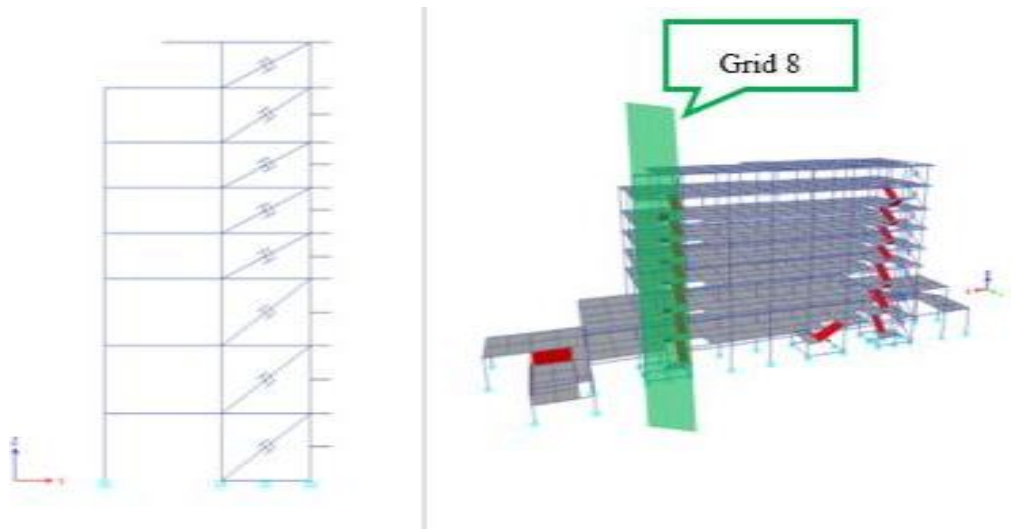


Gambar 9. Grafik respon spektrum gempa pada lokasi struktur

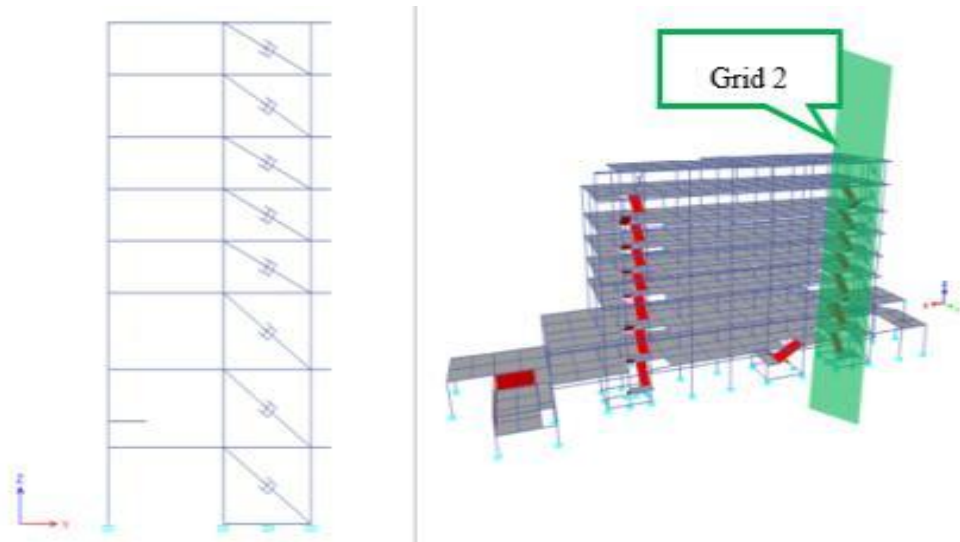
Posisi penempatan damper setinggi gedung pada grid 8 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 10 (grid 8) dan Gambar 11 (grid 2). Damper yang digunakan pada gedung mengacu pada *Product Taylor Devices* Fluid Viscous damper. Spesifikasi damper dinyatakan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jenis spesifikasi FVD Taylor Device

Taylor Devive Model Namber	Rated Force (Kips)	Stroke (in)	Maxwell Stiffness Kd (kips/in)	Damper Mid-Stroke Length (pin-to-pin distance) (in)	Weight (lbs)
17120	55	±3	625	34,13	90
17130	110	±4	940	42,00	180
17140	165	±4	1400	47,00	300
17150	220	±4	1875	48,75	425
17160	330	±4	2800	51,75	550
17170	440	±5	3000	62,00	900
17180	715	±5	4800	62,00	1550
17190	900	±5	6000	74,00	2700
17200	1415	±5	9750	84,00	4100



Gambar 10. Penempatan FVD pada grid 8



Gambar 11. penempatan FVD pada grid 2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan koefisien damper yang akan digunakan pada struktur

Tabel 3. Perhitungan paramater FVD

Lantai	Massa(Mi) kN	Cos (θ)	Periode Mode-1	Mode Shape-1 (φ1)	Drif Mode-1 (φ1)r	(φ1)r ^2	Cos^2(θ)*(φ1)r ^2	Mi*(φ1)^2
8	193,2	0,863	1,294	1	0,091	0,008	0,006	193,20
7	243,3	0,863		0,090	0,136	0,018	0,013	201,03
6	231,84	0,863		0,773	0,137	0,019	0,014	138,53
5	231,84	0,863		0,636	0,136	0,018	0,014	93,78
4	231,84	0,863		0,5	0,091	0,008	0,006	57,96
3	231,84	0,758		0,409	0,182	0,033	0,019	38,78
2	264,96	0,759		0,227	0,136	0,018	0,011	13,65
1	364,32	0,76		0,091	0,091	0,008	0,005	3,02
							0,087	739,96

Berdasarkan hasil analisis respon mode shape -1, serta perhitungan massa dari setiap lantai tingkat pada tabel 3, di hitung nilai koefisien damper yang digunakan. Kontribusi damper viscous di rencanakan sebesar 20%, dari redaman kritis. Koefisien redaman yang akan digunakan ditentukan berdasarkan Persamaan (7) yaitu:

$$C = \frac{0,20 \times 4\pi \times 739,96}{2 \times 1,294 \times 0,087} = 8097,29 \text{ kN} \cdot \frac{s}{m}$$

Estimasi gaya pada damper : $F_D = C \cdot |\dot{u}|^{\alpha} \cdot \text{sgn}(\dot{u})$. Damper linier $\alpha = 1$. Kecepatan relatif antara ujung-ujung damper 0,20 m/s, sehingga: $F_D = 8097,29 \cdot (0,20)^1 = 1619,45 \text{ kN} = 356,28 \text{ kips}$. Mengacu pada katalog *Taylor device* dipilih *Type – 17170*, dengan karakteristik: *Rated Forced 440 kips*, $K_d = 3000 \text{ kips/in} = 535629,92 \text{ kN/m}$, *stroke = 5 in*, berat *900 lbs*. Selanjutnya data K_d ini digunakan untuk menghitung nilai k_d^* sebagai kombinasi seri dengan kekakuan aksial batang damper sebagai berikut:

$$Kb = \frac{0,02138 \times 2000000}{6,473} = 4276,49 \text{ kN/m}$$

$$\frac{1}{K_d^*} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_b}$$

$$\frac{1}{K_d^*} = \frac{1}{535629,92} + \frac{1}{4276,49}$$

$$K_d^* = 4242,616 \text{ kN/m}$$

Untuk penggunaan damper linier, maka $\alpha = 1$, dan dari perhitungan kombinasi seri antara kekakuan aksial damper dan kekakuan aksial batang damper seperti diatas, serta dengan bantuan persamaan (2) dan (7), maka besaran F_D , C_d dan K_d^* dapat diketahui yang direkap pada tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Parameter FVD yang digunakan

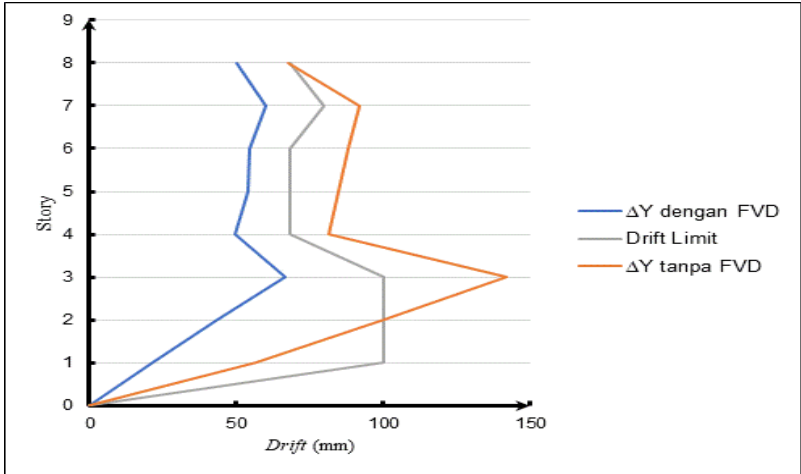
Parameter FVD yang Diaplikasikan			Satuan
Eksponen Redaman	α	1	
Koefisien Redaman	C_d	8097,29	kN.s/m
Gaya izin maksimum Redaman (type=17170)	F_d	1812	kN
Maxwell Stiffness	K_d^*	4242,616	kN/m
Sudut Damper	θ	0,863	rad
		0,824	rad
		0,758	rad
Jarak Antara Kolom	Arah X	6,3	m
	Arah Y	5,8	m

Tinjauan Peran FVD pada Struktur Gedung

Simpangan /drift lateral gedung.

Tabel 5. Perbandingan simpangan antar lantai (*Story Drift*) dan Presentasi reduksi

Lantai tingkat	Drift	Drift	Presentasi Reduksi (%)
	Tanpa FVD (mm)	Dengan FVD (mm)	
Lantai-8	67,870	50,083	26
Lantai-7	91,927	59,769	35
Lantai-6	88,313	54,643	38
Lantai-5	85,008	53,790	37
Lantai-4	81,637	49,715	39
Lantai-3	141,928	66,627	53
Lantai-2	100,249	43,511	57
Lantai-1	56,705	21,279	62



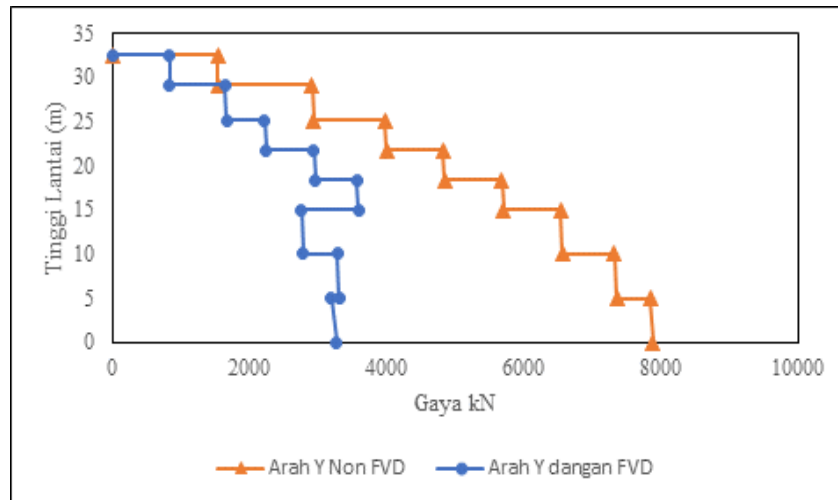
Gambar 12. Grafik Perbandingan Drift

Dari gambar 12 terlihat bahwa simpangan antar lantai arah lateral -Y (*inter story drift*) tanpa damper melewati batas ijin, namun dengan adanya damper simpangan lateral/*drift* gedung sudah tidak melewati batas ijin, hal ini terjadi karena dengan adanya damper kekakuan struktur diarah tersebut bertambah, dan terdapat energi yang terdisipasi ke damper. Naiknya kekakuan struktur dan adanya energi yang terdisipasi ke damper memperkecil simpangan/*drift* lateral gedung. Reduksi simpangan antar lantai (*inter story drift*) berfariasi setiap lantai, dalam rentang (26 - 62)%.

Gaya geser tingkat gedung

Gaya geser tingkat gedung pada tinjauan arah Y (arah pemasangan damper) tanpa dan dengan FVD dinyatakan dalam gambar 13. Dari gambar tersebut terjadi reduksi gaya geser tingkat. Dalam kajian ini rentang reduksi gaya geser tingkat antara 46% - 59 % . Rata-rata reduksi gaya geser tingkat gedung secara keseluruhan ± 39,8%.

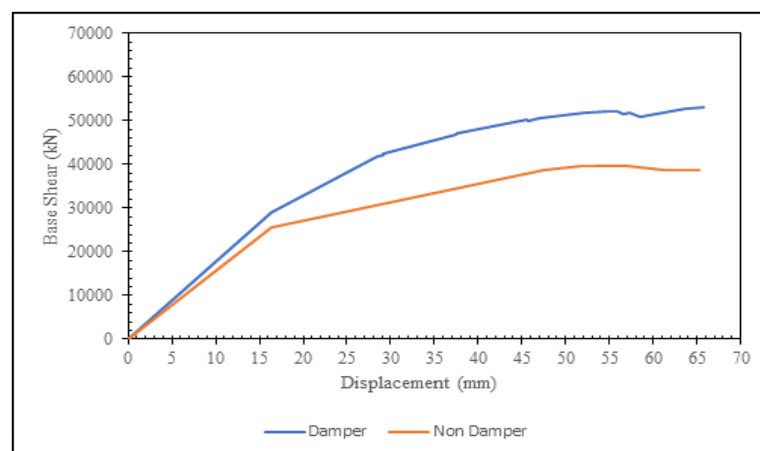
Tabel 6. Tabel Perbandingan gaya geser			
Lantai tingkat	Gaya geser Tingkat Tanpa FVD	Gaya geser Tingkat Dengan FVD	Presentasi Reduksi (%)
8	1536,8653	832,5452	46
	1536,8653	833,3641	46
7	2911,6628	1640,9988	44
	2938,9853	1672,9756	43
6	3974,2894	2218,5041	44
	3994,4004	2241,0591	44
5	4824,4874	2932,9427	39
	4848,1555	2958,5034	39
4	5675,2378	3559,0208	37
	5702,9364	3585,5888	37
3	6538,6345	2760,4781	58
	6555,8712	2775,0755	58
2	7321,6408	3284,8264	55
	7348,8659	3301,2188	55
1	7842,4698	3195,1667	59
	7880,3004	3265,8684	59



Gambar 13. Grafik Perbandingan Gaya Geser tingkat

Kurva kapasitas struktur gedung

Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan lateral pusat massa lantai atap gedung. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa kurva kapasitas meningkat setelah dipasangkan FVD seperti yang dapat dilihat pada gambar 14.

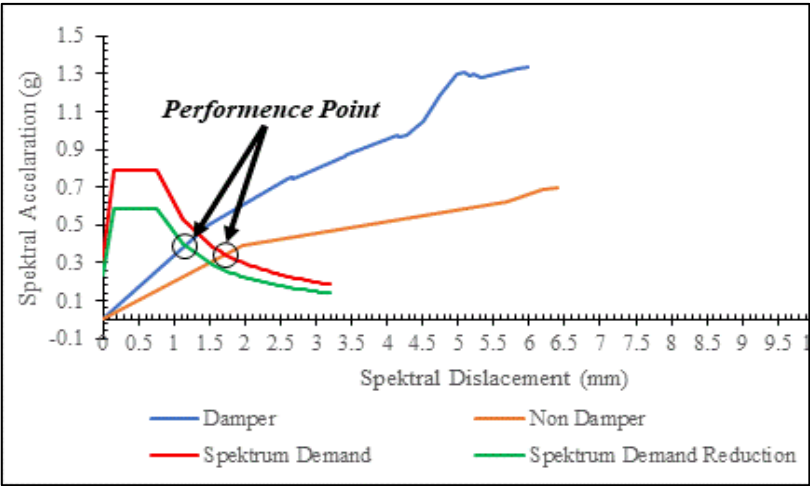


Gambar 14. Grafik perbandingan *Base shear vs Displacement*

Dari grafik pada gambar 14 di atas, menunjukkan bahwa untuk nilai perpindahan (displacement) yang sama antara gedung tanpa dan dengan damper diperlukan gaya geser dasar (Base shear) yang besar pada struktur dengan damper, yang artinya kapasitas atau kekuatan struktur secara umum meningkat dengan adanya damper.

Kinerja struktur gedung

Kinerja struktur gedung diekspresikan melalui titik kinerja (performance point). Titik ini menyatakan besar perpindahan lateral struktur dan gaya geser dasar yang terjadi saat gempa rencana. Titik ini diperoleh dari perpotongan kurva kapasitas gedung dengan spektra gempa setelah kedua kurva ditransformasi kedalam format ADRS (*Acceleration Displacement Respon Spectrum*)



Gambar 15. Grafik perbandingan Kinerja Gedung

Pada grafik dari Gambar 15 di atas, terjadi peningkatan level kinerja struktur gedung setelah dipasangkan FVD. Peningkatan level kinerja ini diketahui melalui distribusi sendi plastis yang terjadi pada gambar 16 dan tabel 7. Titik kinerja (*performance point*) struktur gedung tanpa FVD jatuh pada *level Collapse Prevention*. Sedangkan setelah dipasang FVD titik kinerja struktur menjadi *level IO (Immediate Occupancy)*.

Distribusi sendi plastis pada gedung tanpa dan dengan damper

Sendi plastis yang terjadi di ujung balok dan kolom yang dimodelkan sebelumnya merupakan parameter yang menyatakan ketidak mampuan penampang dalam menerima momen. Besar rotasi penampang yang terjadi tergantung dari momen yang dipikul penampang. Distribusi rotasi sendi plastis di struktur memberi indikasi level kinerja struktur. Level kinerja menurut kriteia FEMA 451 meliputi (A-IO), (IO-LS), (LS-CP), C, > CP. Distribusi sendi plastis pada gedung tanpa dan dengan FVD dinyatakan dalam tabel 7 dan 8 berikut. Step 12 menyatakan perpindahan saat terjadi beban gempa rencana.

Tabel 7. Distribusi sendi plastis tanpa FVD

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A - IO	IO - LS	LS - CP	> CP	Total
0	0	0	496	0	0	0	496
1	16,3	38.229,674	475	18	3	0	496
2	47,498	58186,013	336	57	74	29	496
3	51,726	59345,305	332	47	80	37	496
4	53,499	59533,32	332	45	81	38	496
5	57,021	39320,722	331	45	78	42	496
6	57,133	59305,921	330	46	78	42	496
7	61,28	58034,261	329	46	78	43	496
8	65,193	57852,757	329	45	76	46	496
9	69,106	58128,388	329	44	76	47	496
10	74,975	59065,226	324	47	70	55	496
11	91,678	63300,403	301	39	81	75	496
12	91,891	63299,537	301	39	80	76	496

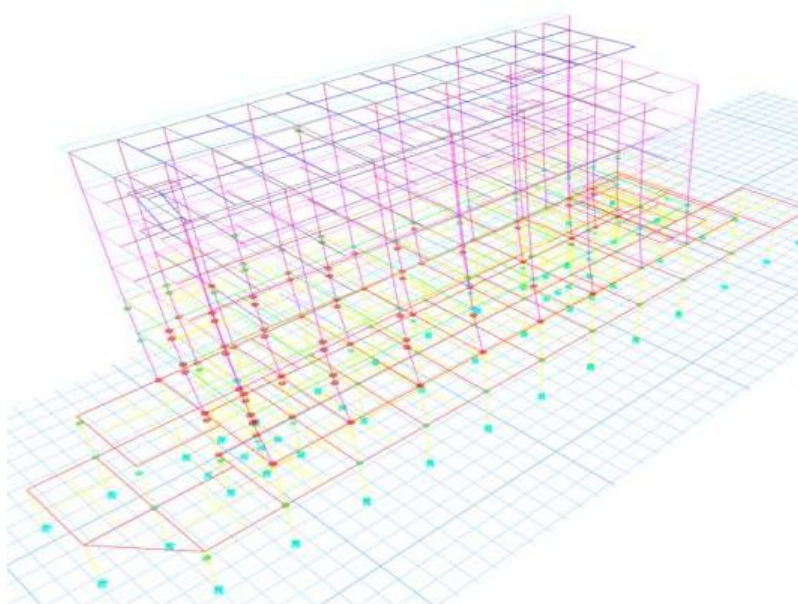
Tabel 8. Distribusi sendi plastis dengan FVD

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A - IO	IO - LS	LS - CP	> CP	Total
0	0	0	496	0	0	0	496
1	16,3	29.004,970	496	0	0	0	496
2	28,525	41697,725	496	16	7	0	519
3	29,162	42150,769	473	17	8	0	498
4	29,162	42147,509	471	17	8	0	496

Tabel 8 (*Lanjutan*). Distribusi sendi plastis dengan FVD

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A - IO	IO - LS	LS - CP	> CP	Total
5	29,163	42164,182	471	17	8	0	496
6	29,164	42162,846	471	17	8	0	496
7	29,168	42177,523	471	17	8	0	496
8	29,168	42178,342	471	17	8	0	496
9	29,171	42192,514	471	17	8	0	496
10	29,173	42196,237	471	17	8	0	496
11	29,175	42183,258	471	17	8	0	496
12	29,176	42183,754	471	17	8	0	496

Dari tabel 7 dan 8 dapat dilihat bahwa pada struktur tanpa FVD, “saat beban gempa rencana terjadi, perpindahan lantai atap gedung sebesar 91,89 mm, gaya geser dasar sebesar 63299,5378 kN, dan distribusi sendi plastis : 301 di tingkat (A-IO), 39 di tingkat (IO-LS), 80 di tingkat (LS-CP) dan 76 ditingkat > CP, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 16. Setelah gedung dipasang FVD saat beban gempa rencana terjadi, perpindahan lantai atap gedung sebesar 29,176 mm, gaya geser dasar sebesar 42183,7547 kN, dan distribusi sendi plastis : 471 di tingkat (A-IO), 17 di tingkat (IO-LS), 8 di tingkat (LS-CP) dan 0 ditingkat > CP. hal ini menunjukkan terjadi peningkatan level kinerja struktur dengan damper dibanding tanpa damper.



Gambar 16. Distribusi sendi plastis di struktur tanpa damper saat menerima beban gempa rencana

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada gedung *eksisting* 8 lantai hotel Santika Bandung, disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. *Fluida Viscous Damper* (FVD) yang digunakan mengacu pada kalatog *Taylor device inc*. Dengan tipe FVD 17170, *stroke* 5 in, *Maxwell Stiffness* 3000 kips/in, dengan kekuatan (*Rated forced*) 440 kips dan nilai eksponensial 1,0 (*linier damper*).
2. Damping ratio struktur yang awalnya hanya 5% dari redaman kritis ditingkatkan menjadi 25%, dan untuk mencapai kondisi ini digunakan koefisien redaman sebesar $C = 8097,29 \text{ kN s/m}$.
3. Awalnya simpangan lantai gedung pada arah sumbu Y (arah yang sesuai dengan posisi damper) melampaui simpangan ijin gedung. Setelah dipasang damper simpangan ijin sudah tidak dilampaui. Reduksi simpangan rata-rata untuk semua lantai setelah dipasang damper sebesar 43,37%. Sedangkan frekwensi alami struktur dengan adanya damper tidak berubah secara signifikan.

4. Perpindahan lateral lantai puncak gedung di arah Y saat terjadi gempa rencana, untuk struktur tanpa damper sebesar 91,891 mm dengan dipasang damper menjadi 29,176 mm. Terjadi reduksi simpangan sebesar 60,24 %.
5. Reduksi Gaya geser tingkat rata-rata dengan adanya damper sebesar 39,8 %
6. Gaya geser dasar di arah Y tanpa damper saat beban gempa rencana sebesar 63299,5378 kN dengan adanya damper menjadi 42183,754 terjadi reduksi gaya geser dasar sebesar 33,35%.
7. Berdasarkan distribusi sendi plastis pada struktur, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan level kinerja gedung. Tanpa damper berada pada level (CP) *Collapse Prevention* sedangkan dengan damper menjadi (LS) *Life Safety*. Secara umum dapat dikatakan dengan adanya damper kinerja struktur gedung menjadi lebih baik dan respon dinamik seperti perpindahan lateral, perpindahan antara lantai, gaya geser tingkat mengalami reduksi.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2019). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2019). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Elwardany, H., Jankowski, R., & Seleemah, A. (2021). Mitigating the seismic pounding of multi-story buildings in series using linear and nonlinear fluid viscous dampers. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 21(4), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00249-9>
- FEMA 451. (2006). NEHRP recommended provisions: Design examples. Federal Emergency Management Agency.
- Guo, Y., Wang, S., & Zhang, S. (2024). Seismic performance of building structures based on improved viscous damper seismic design. *Journal of Vibroengineering*, 26(5), 1082–1100. <https://doi.org/10.21595/jve.2024.23988>
- 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 (JCEBT)*, 6(2), 117–123. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Pribadi, A., Desmaliana, E., & Fadlisha, D. T. (2020). Studi perbandingan respon struktur gedung menggunakan *fluid viscous damper* dengan variasi jumlah lantai. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 22–32. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i1.22>
- Ras, A., & Boumechra, N. (2016). Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2821–2832. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.012>
- Scholl, R. E., & Miyamoto, H. K. (1998). Seismic response modification factor for fluid viscous dampers. *Proceedings of the Structural Engineers Association of California*.
- Şığaher, A. N., & Constantinou, M. C. (2003). Scissor-jack-damper energy dissipation system. *Earthquake Spectra*, 19(1), 133–158. <https://doi.org/10.1193/1.1540999>
- Takewaki, I. (2009). Building control with passive dampers: Optimal performance-based design for earthquakes. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470824931>
- Taylor, D. P. (2007). Fluid viscous dampers for seismic applications: The state of the art. *Journal of Structural Engineering*, 133(1), 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2007\)133:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:1(1))
- Trivedi, A., Shrivastava, G., & Patil, K. (2023). Seismic analysis of irregular diaphragm reinforced concrete building with fluid viscous dampers. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(6), 1620–1626. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.55029>
- Uang, C. M., & Bertero, V. V. (1988). Evaluation of seismic energy in structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16(3), 439–456. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290160310>

