

# Pengaruh Pemasangan Peredam Getaran Eksternal Tipe *Viscous* terhadap Kinerja Struktur Gedung

Laode Azan Muzahab

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Achmad Yani

[laodeazanmuzahab@gmail.com](mailto:laodeazanmuzahab@gmail.com)

## Abstrak

Selama ini, energi getaran gempa yang besar pada struktur gedung diatasi secara konvensional dengan meningkatkan kekuatan, kekakuan dan kapasitas deformasi in-elastik terhadap persyaratan keamanan beban dengan mengkombinasikan komponen struktur seperti dinding geser (*shear walls*), *braced frames*, kerangka penahan momen, diafragma dan rangka batang horisontal. Saat ini telah dikembangkan metode baru untuk mengatasi energi getaran gempa yang besar dengan cara memasang peredam getaran eksternal. Terdapat beberapa tipe peredam getaran eksternal salah satunya *Bracing Viscous Damper*. Peredam ini akan mendisipasi energi gempa yang masuk ke dalam struktur. Energi yang terdisipasi selanjutnya akan mempengaruhi respon dan kinerja struktur gedung. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh peredam getaran eksternal tipe *Bracing Viscous Damper* terhadap respon dan kinerja struktur gedung menggunakan analisis *Nonlinier Pushover* yang evaluasi kinerjanya merujuk pada SNI 03-1726-2012, ATC-40, dan FEMA-273. Hasil analisis diperoleh: (1) Peredam eksternal mereduksi besar simpangan lateral sebesar 9.58% dan simpangan time history struktur gedung sebesar 58%, (2) Mereduksi *Story Drift* sebesar 22.9%, (3) Mereduksi gaya geser tingkat (*Shear Story*) sebesar 53.5%. Kinerja struktur gedung ber-peredam lebih baik jika dibanding tanpa peredam, hal ini tercermin dari titik kinerja struktur (*Performance Point*) yang diperoleh dari analisis *Pushover*. Berdasarkan batas kinerja menurut ATC-40 struktur ber-peredam masuk pada level *Immediate Occupancy (IO)* dan tanpa peredam masuk pada level *Damage Control*.

Kata kunci: Kinerja struktur, *Pushover*, *Time History*, *Viscous Damper*

## 1. Pendahuluan

Selama ini, energi getaran gempa yang besar pada struktur gedung diatasi secara konvensional dengan meningkatkan kekuatan, kekakuan dan kapasitas deformasi in-elastik terhadap persyaratan keamanan beban yang mengkombinasikan komponen struktur seperti dinding geser (*shear walls*), *braced frames*, kerangka penahan momen, diafragma dan rangka batang horisontal, (Bleiman 1994, Building Seismic Safety Council 2005). Metode konvensional lainnya untuk mengatasi energi getaran gempa dengan merencanakan mekanisme pembentukan sendi plastis (*plastifikasi*) pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan yang dikenal dengan metode desain kapasitas. Pembentukan sendi plastis menuntut deformasi yang besar dan daktilitas yang tinggi. Kedua metode ini potensial memerlukan elemen struktur yang relatif besar, dan daktilitas yang tinggi. Disisi lain struktur-struktur sensitif seperti rumah sakit, struktur penyimpanan bahan bakar minyak/radiaktif, deformasi yang besar saat gempa kuat terjadi perlu dibatasi dan gaya inersia yang besar perlu dihindari, yang belum diakomodir oleh metode desain konvensional. Untuk mengakomodir hal tersebut, maka pada gedung di-pasang peredam getaran eksternal.

Saat ini telah dikembangkan metode baru untuk mengatasi energi getaran gempa yang besar pada struktur gedung, yaitu dengan memasang peredam getaran eksternal. Terdapat beberapa tipe peredam getaran eksternal salah satunya *Bracing Viscous Damper*, pada peredam ini energi gempa yang masuk ke dalam struktur akan didisipasi melalui pergerakan piston di dalam cairan *Viscous*. 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 getaran gempa yang cukup besar pada struktur gedung. Energi yang didisipasi ini selanjutnya akan mempengaruhi respon dan kinerja struktur gedung. Melihat kompleksitas kebutuhan keamanan gedung saat ini, maka metode pemasangan Peredam Getaran Eksternal *Bracing Viscous Dumper* merupakan metode yang paling sesuai dengan kebutuhan struktur gedung saat ini.

Jenis dan konfigurasi pemasangan Peredam Getaran Eksternal pada struktur gedung berpengaruh pada *Seimik Performance* Struktur (Yoji Ooki, dkk. 2004), sehingga penelitian mengenai hal tersebut hingga saat ini masih intensif dilakukan. Model konfigurasi pemasangan peredam getaran eksternal (PGE) yang pada mulanya hanya berupa diagonal (Gambar 1a) dan *chevron* (Gambar 1b) telah mengalami perkembangan dengan ditemukannya konfigurasi *Upper Toggle* dan *Reverse Toggle* (Constantinou dkk, 2001) (Gambar 1c dan 1d) dan *Scissor-Jack Dumper* (Ani N. Sigaher, M.C. Constantinou, 2003) (Gambar 1e.). Dengan semua konfigurasi tersebut menunjukkan bahwa respon dinamik struktur menjadi lebih baik.

### Info Makalah:

Dikirim : 03-22-2018;

Revisi 1 : 03-29-2018;

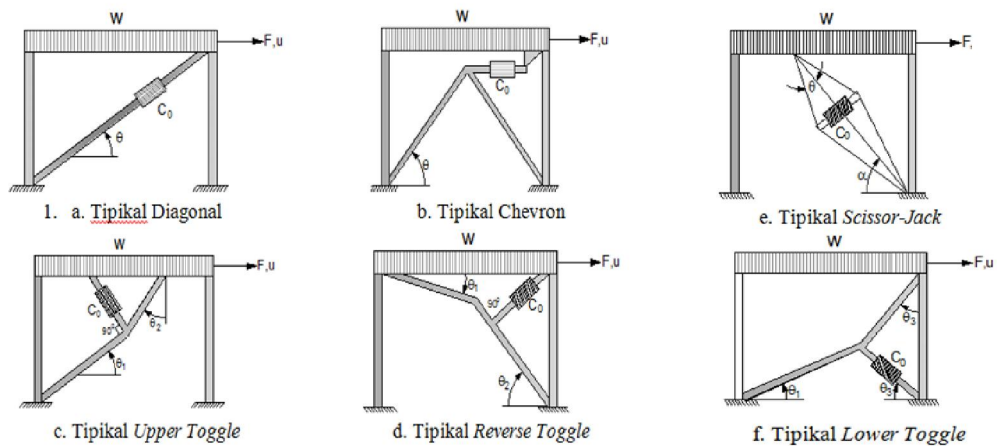
Revisi 2 : 04-25-2018;

Diterima : 05-07-2018;

### Penulis Korespondensi:

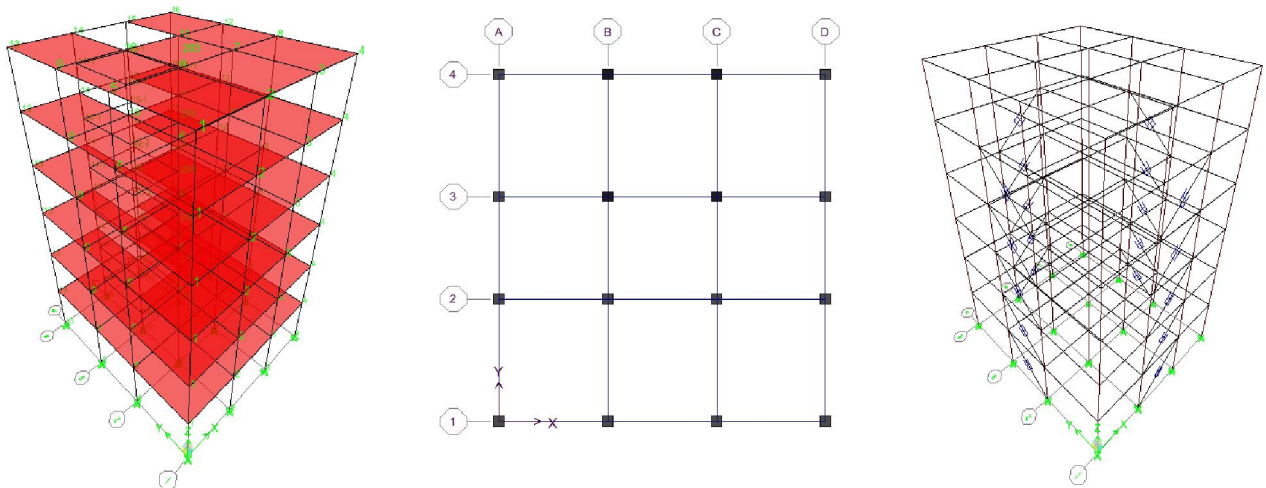
Telp : +62-853-567-90019

e-mail : [laodeazanmuzahab@gmail.com](mailto:laodeazanmuzahab@gmail.com)



Gambar 1. Berbagai Konfigurasi Pemasangan Peredam Getaran Eksternal Tipe *Viscous Damper* (Ani N. Sigaher and Michael C. Constatinou 2003)

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah : (1) untuk melihat pengaruh peredam getaran eksternal tipe *Bracing Viscous Damper* terhadap kinerja struktur gedung. (2) Membandingkan respon struktur tanpa dan dengan ber-peredam getaran eksternal akibat beban gempa *Time History*. (3) Membandingkan kinerja struktur gedung tanpa dan dengan ber-peredam eksternal. Evaluasi kinerja struktur gedung mengacu pada SNI 03-1726-2012, ATC-40, dan FEMA 273. Kinerja struktur di-peroleh dengan analisis nonlinier *Pushover*. Gedung dimodelkan sebagai portal ruang (3D) model bangunan geser (*Shear Building Model*), sehingga pergeseran lateral lantai struktur hanya sesuai dengan arah beban gempa. Konfigurasi struktur simetri setinggi enam lantai menggunakan struktur rangka beton bertulang. Pemasangan peredam eksternal *Bracing Viscous Damper* hanya pada sisi bidang luar bagian tengah setinggi lantai gedung seperti pada Gambar 2 berikut:



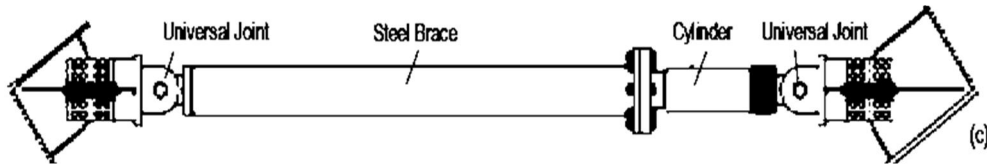
Gambar 2. Denah Dan Model Gedung Tanpa dan Dengan Ber-Peredam Getaran Eksternal *Bracing Viscous*

Tabel 1. Dimensi Balok dan Kolom

Elemen Struktur	Dimensi (mm)
1. Balok Induk	300x500
2. Balok atap	300x450
3. Kolom level 1-2	500x500
4. Kolom level 3-6	450x450

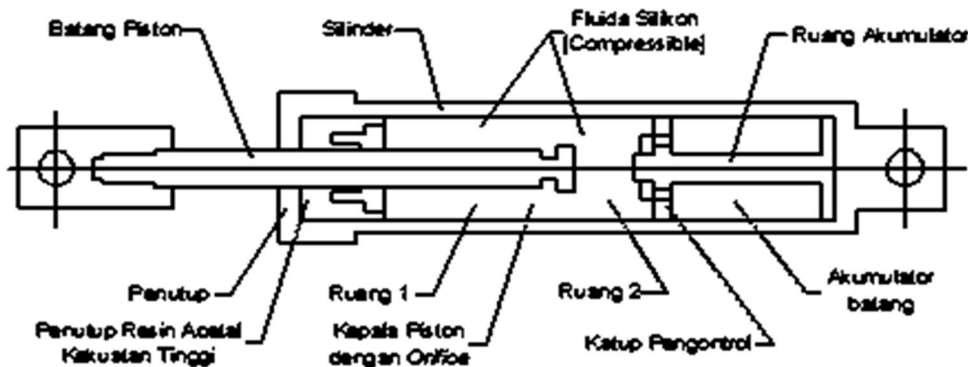
Tabel 2. Dimensi Gedung dan Parameter *Damper Viscous*

Parameter Gedung	Parameter Damper Viscous
1. Tebal Pelat lantai = 130 cm	1. Damping exponent $\alpha = 1$
2. Tinggi Lantai (seragam) = 4 m	2. Damping Coefisien $C_d = 1250 \text{ kN}/(\text{m/s})^\alpha$
3. Jumlah Lantai = 6	3. Gaya damping max yang di izinkan, $F_D = 1200 \text{ kN}$
4. Mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$ ,	4. Deformasi max Damping yang diizinkan : $\Delta = 150 \text{ mm}$
5. Mutu Baja $f_y = 380 \text{ Mpa}$ , $f_y = 240$ (sengkang)	5. Sudut posisi Dumper ( $\theta = 39^\circ$ ) terhadap horizontal
6. Fungsi bangunan : kantor	6. Jarak antara kolom arah x dan y = 6 m



Gambar 3. Tipikal *Viscous Damper*

Karakteristik *Damper Viscous* yang dipasang pada struktur gedung merupakan fluida *Viscous Damper* terdiri dari piston yang terdapat dalam tabung yang berisi *silicon* atau oli. Piston terdiri dari beberapa lubang yang memungkinkan cairan mengalir ke antara sisi piston. Disipasi energi terjadi melalui mekanisme pergerakan piston dalam cairan *viscous*, Pada Gambar 4 terlihat bagian-bagian dari *Fluid Viscous Dumpers* yang digunakan:



Gambar 4. *Fluid Viscous Dumper*

Gaya peredam (*Damper force*) ( $F_D$ ) *shock absorber* atau FVD dinyatakan dalam persamaan:

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

Dimana  $C_d$  = koefisien damping,  $\alpha$  = parameter ekponensial pada struktur gedung mempunyai rentang nilai  $0,1 \leq \alpha \leq 1$  (in).  $\text{sgn}(\dot{u})$  adalah fungsi *sign*. Laju gaya reaksi yang diijinkan pada *Dumper Viscous* dalam rentang  $0 < \text{sgn}(x) < 1$  (m/s). Beberapa peneliti (Taylor, 2007) telah menunjukkan bahwa *Dumper Viscous* bekerja dalam kondisi yang baik jika parameter eksponensial ( $\alpha$ ) berada pada kisaran harga  $0,1 \leq \alpha \leq 0,3$  dan kecepatan gaya reaksi dalam rentang sekitar  $0 - 0,3$  m/s.

FEMA-273 mengusulkan persamaan untuk mengevaluasi *Damping Ratio* efektif ( $\xi_{\text{eff}}$ ) pada struktur yang terdiri dari sejumlah “j” *Damper viscous* linier yang dipasang dalam bentuk *bracing diagonal* dinyatakan oleh persamaan berikut:

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

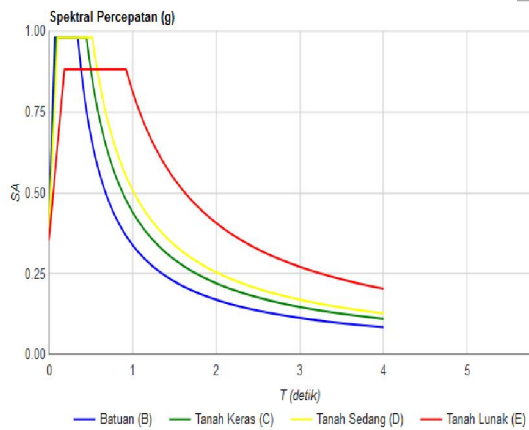
Dan energi yang didisipasi oleh sejumlah *Viscous Damper* dinyatakan oleh:

$$\sum_j W_j = \sum_j \pi C_j u_j^2 \omega_0 = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j u_j^2 \quad (3)$$

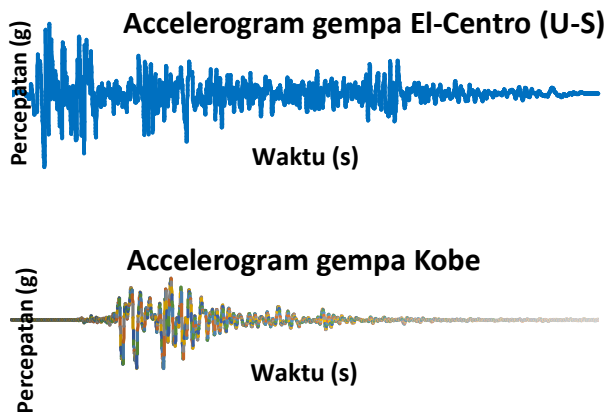
Pada persamaan (2) dan (3) : T adalah Periode fundamental struktur,  $C_j$  adalah koefisien redaman struktur,  $\Phi_{rj}$  adalah *Mode Shape* ke j lantai ke-r,  $\xi_0$  adalah damping ratio awal stuktur diambil 5%.  $\theta_j$  posisi sudut *Bracing Viscous Dumper* terhadap horizontal,  $m_i$  adalah masa lantai ke-i, dan  $u_j$ , pergeseran lateral lantai ke-j.

## 2. Metode

Model struktur pada Gambar 2 akan dibebani: (1) beban gempa Respon Spektrum wilayah Cimahi, kondisi tanah sedang dengan  $S_s=1,469$  (g) dan  $S_1 =0,509$  (g). (2)beban gempa *Tyme History* yang sudah diskalakan intensitasnya disesuaikan dengan respon spektra wilayah Cimahi, seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6. Input beban pada model dilakukan dengan *Software CSI ETABS Version 9.7.2*

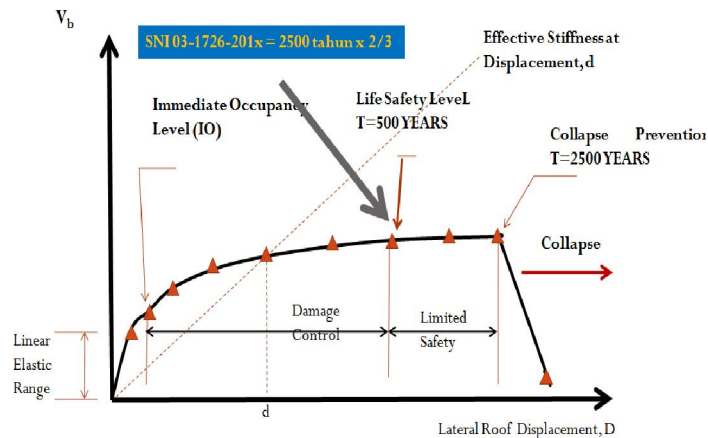


Gambar 5. Kurva Respon Spektra Wilayah Cimahi



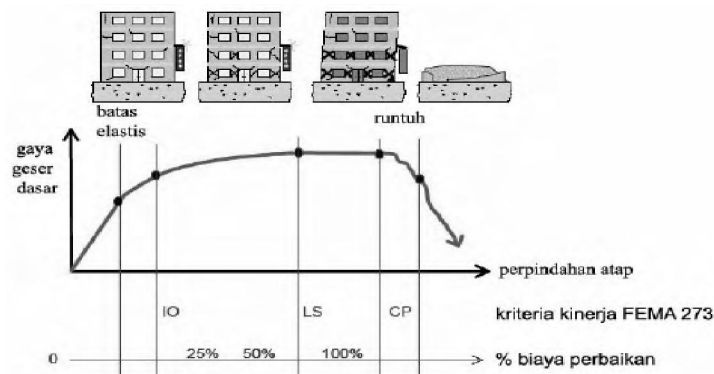
Gambar 6. Accelerelogram Gempa Asli

Kinerja struktur diperoleh melalui analisis *Nonlinear Pushover* dilakukan dengan software ETAB. Tingkat kinerja struktur seperti yang diatur dalam ATC-40 yang dijelaskan pada Gambar 7, Tabel 3 dan 4 berikut:-



Gambar 7. Kurva Kapasitas (ATC-40)

Mengacu pada FEMA-273 Level kinerja struktur diklasifikasikan sebagai berikut:



Gambar 8. Kurva Kapasitas (FEMA -273)

Tabel 3. Batas Deformasi Bangunan gedung (Sumber ATC-40)

Tingkat Kinerja				
<i>Interstory Drift Limit Structural (Batas Simpangan Maksimum)</i>	<i>Immeiate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maksimum total driff (Simpangan total Maks)</i>	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33. Vi/Pi
<i>Maksimum Inelastic Driff (Simpangan Non elastic maks)</i>	0,055	0,005-0,015	No Limit	No Limit

Tabel 4. Tingkat Kinerja Struktur (Sumber ATC-40)

No	Tingkat Kinerja	Uraian
1	SP-1	<i>Immediate Occupancy</i> (Penggunaan sedang)
2	SP-2	<i>Damage Control</i> (control kerusakan)
3	SP-3	<i>Life Safety</i> (Aman untuk dihuni)
4	SP-4	<i>Limited Safety</i> (keamanan Terbatas)
5	SP-5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas struktur)
6	SP-6	<i>No Considerable</i> (Tidak diperhitungkan)

Dalam analisis *Pushover*, harga perpindahan maksimum dan gaya geser dasar yang terjadi sebelum struktur gedung runtuh disebut titik kinerja (*Performance Point*). Penentuan titik kinerja mengacu pada penjelasan dalam ATC-40, FEMA 356, FEMA 440, dan SNI-3-1726-2012. Dalam pemodelan gedung faktor reduksi gempa diambil ( $R=3,5$ ) dan daktilitas asumsi awal ( $\mu=2,1$ ). Berdasarkan analisis struktur akan dihasilkan dimensi dan detail tulangan balok, kolom dan pelat. Detail tulangan yang merupakan keluaran program digunakan sebagai input model penampang, dan dengan bantuan program *Respon -2000* akan diperoleh grafik *Momen-Curvature*. Grafik tersebut dianalisis untuk memperoleh nilai *Property Hinge* penampang balok dengan berbagai detail tulangan tertentu. Nilai *Property Hinge* kolom adalah sesuai dengan nilai *default* program. Beban gravitasi menjadi input *load-control pushover* dan beban lateral gempa monotonik ditingkatkan sampai simpangan atap struktur mencapai nilai tertentu (*Displacement-Controlled*).

Dalam tahap pertama dilakukan analisis *pushover* pada gedung tanpa redaman eksternal. Model mendapat beban gempa *Respon Spektra* gempa wilayah Cimahi tanah sedang sesuai definisi *function respon spectra* NEHRP-97, Tahap selanjutnya dilakukan analisis *Pushover* pada gedung ber-peredam eksternal *Bracing Viscous*. Hasil analisis *Pushover* kemudian dibandingkan untuk memperoleh informasi perbedaan kinerja dari kedua model tersebut. Disain dimensi dan detail tulangan balok, kolom dan pelat mengacu pada SNI-03-2847-2013 dengan nilai faktor-faktor reduksi yang digunakan dalam proses desain beton bertulang dalam program telah disesuaikan, yaitu:  $\Phi$  (tarik lentur) = 0,8,  $\Phi$  (tarik terkekang) = 0,7,  $\Phi$  (tekan spiral) = 0,75,  $\Phi$  (geser) = 0,6

Tabel 5. Hasil Detail Tulangan Balok Pada Setiap Lantai:

Lantai	Balok Pinggir			Balok Tengah		
	Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan	Tulangan tumpuan	Tulangan tumpuan	Tulangan lapangan	Tulangan Tumpuan
1	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19
2	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
3	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
4	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
5	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19
6	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19

Pada model Model struktur yang dikaji, akan mendapat kombinasi beban gravitasi (beban hidup dan beban mati), beban gempa statik, serta kombinasi beban gravitasi dan beban gempa dinamik spektra respon pada arah Sumbu X dan Sumbu Y. Analisis beban gempa statik ekuivalen menggunakan beban gempa statik. Didasarkan *spektra respon* pada Gambar 4 tanah sedang. Nilai periode adalah sesuai dengan periode pertama model struktur. 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 gedung didapat sebagai superposisi dari respon dinamik maksimum masing-masing ragamnya (mode-nya). Model struktur gedung adalah beraturan, sehingga penjumlahan respon ragam bisa

dilakukan dengan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*) atau SRSS (*Square Root of the Sum of Square*). Dalam pemodelan ini, metode CQC digunakan untuk memperhitungkan *Modal Combination* dan metode SRSS digunakan untuk memperhitungkan *Directional Combination*. Redaman struktur awal yang diperhitungkan adalah 5% dari redaman kritis. Nilai spektrum respon dengan redaman 5% untuk setiap tingkat bahaya gempa mewakili respon maksimum struktur yang berhubungan dengan percepatan *spectra* ( $S_a$ ) selama gempa terjadi sebagai fungsi periode vibrasi ( $T$ ) (BSN 2012). Nilai parameter gempa yang digunakan dalam analisis ragam spektrum respon adalah sama dengan analisis gempa statik ekuivalen. Jumlah ragam adalah 12 untuk menjamin nilai partisipasi masa yang menghasilkan respon total mencapai minimal 90%. Nilai respon total minimum ditetapkan dalam SNI-1726-2012. Nilai gaya geser tingkat akibat pengaruh gempa rencana ( $V_i$ ) sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam spektrum respon dalam arah sumbu X dan sumbu Y harus dikalikan dengan faktor skala, yaitu:  $0,85 (V_1/V_i) \geq 1,0$ , Dengan:  $V_1$  = Gaya geser dasar nominal akibat respon dinamik ragam pertama, dan  $V_t$  = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon. Kombinasi beban yang digunakan sesuai combo dalam SNI-172602012 yaitu 18 kombinasi.

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1 Penentuan Koefisien Redaman yang Digunakan

Nilai koefisien redaman ( $C$ ) yang akan di dipasang pada *Damper Viscous* didasarkan pada analisis struktur tanpa redaman (*Damper*), yaitu berdasarkan data-data berikut: Mode Shape  $\Phi$ , Drif Modal, sudut *Bresing Damper*, dan masa setiap lantai, Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Properti Modal Untuk Perencanaan Damper

$\cos \theta$	Drif modal $\{\Phi_r\}_1$	$(\{\Phi_r\}_1)^2$	$(\cos \theta)^2 * (\{\Phi_r\}_1)^2$	$m_i$ (kg)	Mode Shape 1 $(\Phi_1)^2$	$m_i * (\Phi_1)^2$
0.781	0.08	0.0064	0.0039	20652.6095	1	20652.6095
0.781	0.13	0.0169	0.0103	33394.2897	0.8464	28264.9268
0.781	0.19	0.0361	0.0220	33394.2897	0.6241	20841.3762
0.781	0.22	0.0484	0.0295	33719.8314	0.36	12139.1393
0.781	0.23	0.0529	0.0322	34089.4729	0.1444	4922.519887
0.781	0.15	0.0225	0.0137	34089.4729	0.0225	767.0131403
			0.1117			<b>87587.58483</b>

Nilai koefisien redaman ( $C$ ) didasarkan harga damping ratio yang ditetapkan lebih awal ( $\xi$ ). Damping ratio struktur dari kontribusi damper ditetapkan  $\xi_d = 20\%$ , damping ratio bawaan awal 5% sehingga damping efektif struktur:  $\xi_{eff} = 5\% + 20\% = 25\%$ . Berdasarkan persamaan (2), koefisien redaman pada damper adalah:

$$C = \frac{\xi_d * 4\pi * 87587.58}{2 * 1.2775 * 0.111744855} = 770,62 = 770 \left( kN - \frac{s}{m} \right) \quad (4)$$

Dari analisis dinamik mode ke-1 struktur tanpa damper, diperoleh periode struktur  $T_1 = 1,2775$  s, sehingga percepatan spektrum disain untuk tanah sedang (D) berdasarkan kurva Gambar 4 adalah  $S_{a1} = 0.40$  g. Berdasarkan harga  $S_{a1}$ , maka respon struktur dalam tiga keadaan sesuai yang direkomendasikan oleh FEMA -273 dapat dihitung sebagai berikut:

#### a. Respon Struktur pada Perpindahan dan Kecepatan Maksimum

Dari Tabel di atas dapat ditentukan *Modal Participation Faktor (MPF)* pada mode ke-1, yaitu:

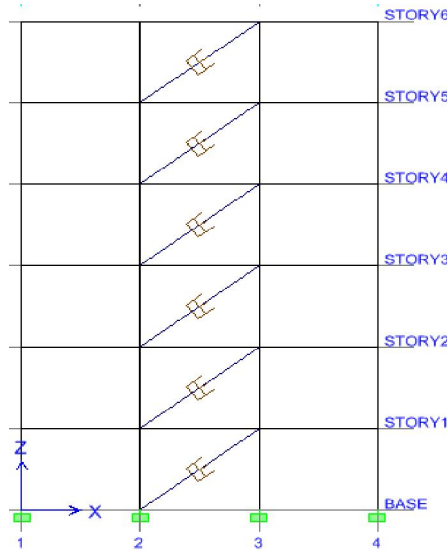
$$PF_1 = \frac{\sum_i m_i \Phi_{im}}{\sum_i m_i \Phi_{im}^2} = 1.32 \quad (5)$$

Percepatan setiap lantai tingkat akibat beban gempa Spektrum kota Cimahi adalah  $A_{i1} = PF_1 * \phi_{i1} * S_{a1}$

Nilai-nilai respon pada perpindahan maksimum dan kecepatan maksimum dievaluasi dan dinyatakan pada Tabel 7.

Tabel 7. Respon Struktur Pada Perpindahan Dan Kecepatan Maksimum

Lantai	Respon truktur pada perpindahan maksimum			Respon truktur pada kecepatan maksimum		
	Percepatan (g)	Gaya Lateral (kN)	Gaya Geser Tingkat (kN)	Perpindahan Absolut (mm)	Perpindahan antara Lantai (mm)	Kecepatan antara Ujung Damper (mm/s)
1	0,258	106.973	106.973	214.12	17.44	66.89
2	0,485	158.884	265.857	196.68	27.58	105.79
3	0,417	136.608	402.465	169.10	40.96	157.12
4	0,316	104.530	506.995	128.14	47.04	180.44
5	0,200	66.883	573.878	81.10	49.07	183.23
6	0,079	26.418	600.296	32.03	32.03	122.86



Gambar 9. Penempatan Damper Pada Struktur

### 3.2 Evaluasi Gaya Geser Tingkat pada Struktur Ber- Peredam Eksternal

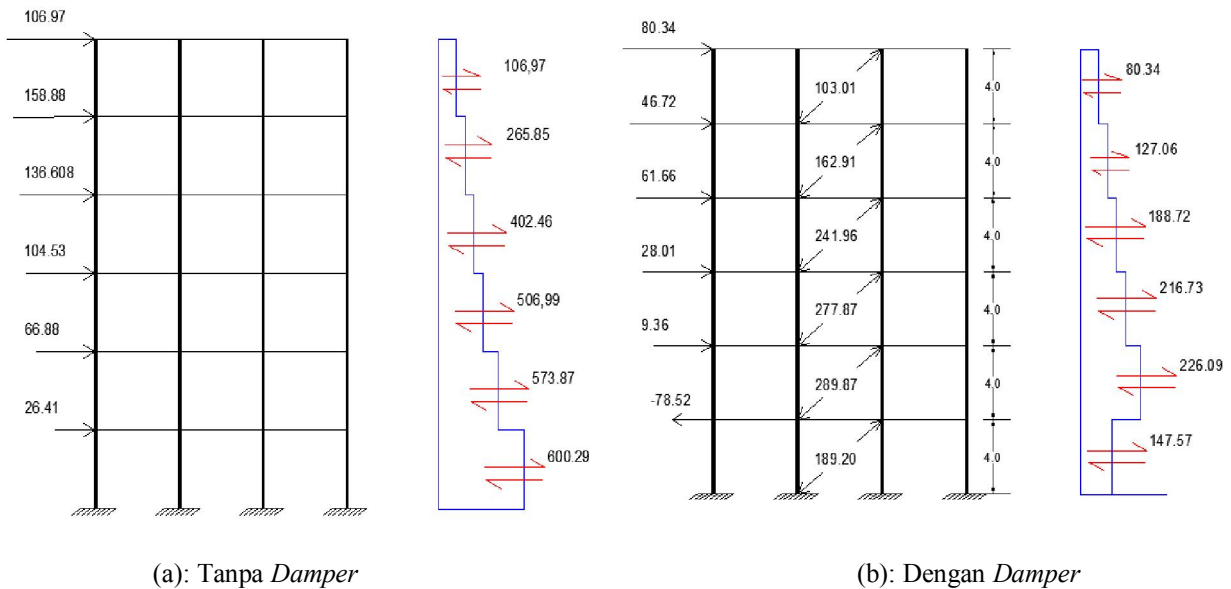
Total jumlah Damper pada lantai ke  $i$  adalah  $n$ . kecepatan ujung-ujung Damper adalah  $\Delta_{di}$  sehingga gaya yang diterima Damper disetiap lantai ( $F_{di1}$ ) adalah:  $F_{di1} = n * C_i * \Delta_{di}$

$$F_{di1} = 2 * 770 * \begin{pmatrix} 66.89 \\ 105.79 \\ 157.12 \\ 180.44 \\ 188.23 \\ 122.86 \end{pmatrix} * 10^{-3} = \begin{pmatrix} 103.01 \\ 162.91 \\ 241.96 \\ 277.87 \\ 289.87 \\ 189.20 \end{pmatrix} \text{ (kN)} \quad (6)$$

Komponen horizontal gaya yang di terima Damper ( $V_{di1}$ ) yaitu:

$$V_{di1} = \begin{pmatrix} 103.01 * 0.78 \\ 162.91 * 0.78 \\ 241.96 * 0.78 \\ 277.87 * 0.78 \\ 289.87 * 0.78 \\ 189.20 * 0.78 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 80.34 \\ 127.06 \\ 188.72 \\ 216.73 \\ 226.09 \\ 147.57 \end{pmatrix} \text{ (kN)} \quad (7)$$

Distribusi gaya geser tingkat pada struktur tanpa damper kondisi perpindahan maksimum dan dengan damper kondisi kecepatan maksimum dinyatakan pada Gambar berikut :



Gambar 10. Distribusi Gaya Geser Tingkat Dan Gaya Yang Diterima Damper

### 3.3 Respon Struktur pada Percepatan Maksimum

FEMA-273 merekomendasikan percepatan maksimum gerak lantai tingkat akibat beban gempa dengan persamaan berikut:

$$A_{max,i1} = (CF_1 + 2\xi_{eff} \cdot CF_2)A_{i1} \quad (8)$$

Koefisien  $CF_1$  dan  $CF_2$  menurut FEMA- 273 sebagai berikut:

$$CF_1 = \cos\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} = \cos\{\tan^{-1}(2 * 0.25)\} = 0.89 \quad (9)$$

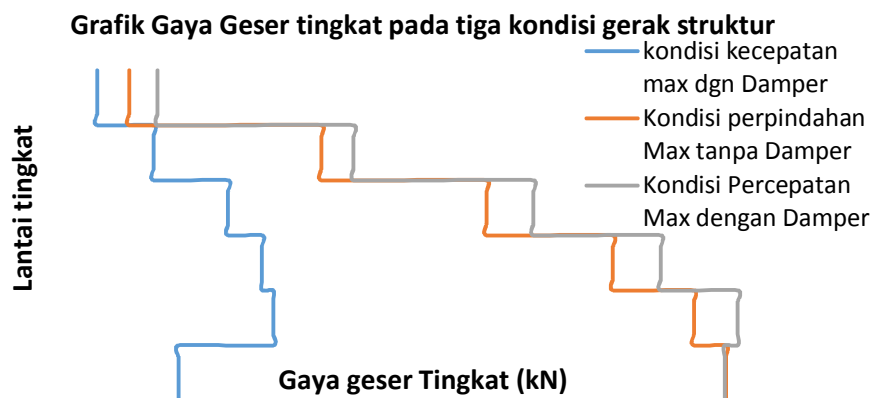
$$CF_2 = \sin\{\tan^{-1}(2 * \xi_{eff})\} = \sin\{\tan^{-1}(2 * 0.25)\} = 0.44 \quad (10)$$

Gaya geser tingkat maksimum sesuai persamaan yang direkomendasikan oleh FEMA-273 adalah:

$V_{max,i1} = CF_1 * V_{i1,max,disp} + CF_2 * V_{di1,max,vel}$ . Sehingga nilai gaya geser tingkat pada kondisi percepatan maksimum atau kondisi simpangan terjauh dalam gerak sikliknya adalah:

$$V_{max,i1} = 0.89 \cdot \begin{Bmatrix} 106.973 \\ 265.857 \\ 402.465 \\ 506.995 \\ 573.878 \\ 600.296 \end{Bmatrix} + 0.44 * \begin{Bmatrix} 80.34 \\ 127.06 \\ 188.72 \\ 216.73 \\ 226.09 \\ 147.57 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 130.55 \\ 292.53 \\ 441.23 \\ 546.58 \\ 610.23 \\ 599.19 \end{Bmatrix} \quad (11)$$

Gaya geser tingkat maksimum struktur tanpa peredam eksternal dan ber-peredam eksternal selama gerak bolak balik struktur dinyatakan pada grafik berikut:



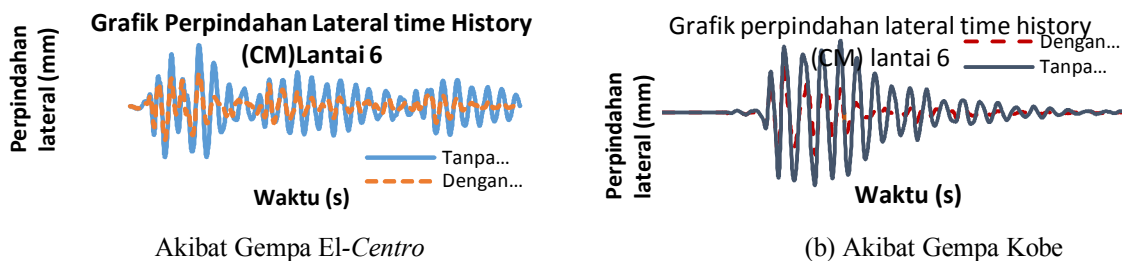
Gambar 11. Distribusi Gaya Geser Tingkat Kondisi Gerak Struktur Tanpa Dan Dengan Damper



Dari grafik terlihat bahwa gaya geser tingkat pada struktur ber-peredam eksternal akan tereduksi/berkurang ketika struktur berada pada kondisi kecepatan maksimum atau ketika struktur melewati titik keseimbangan dalam gerak sikliknya (Terlihat pada kondisi gaya geser tingkat di lantai dua, dengan damper, tereduksi sebesar 347.78kN dimana gaya geser tingkat di lantai 2 tanpa damper sebesar 573.89kN dan dengan dengan damper 226.09kN). Hal ini dapat terjadi karena gaya geser tingkat ketika struktur melewati titik keseimbangan terdisipasi/terserap ke damper, karena ada selisih kecepatan gerak ujung-ujung damper. Sedangkan pada kondisi percepatan maksimum atau ketika struktur berada disimpangan terjauh dalam gerak sikliknya, gaya geser tingkat sesuai persamaan yang diajukan FEMA-273 menjadi lebih besar jika dibanding dengan struktur tanpa peredam eksternal. Ini menunjukkan bahwa persamaan yang diajukan oleh FEMA untuk menghitung gaya geser tingkat struktur berperedam eksternal tipe *bracing viscous over estimate*.

### 3.4 Respon Time History Struktur

Hasil simulasi perpindahan time history titik pusat masa lantai 6 struktur tanpa redaman dan struktur ber-peredam *Bracing Viscous* dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 12. Respon Riwayat Waktu Struktur (CM) Lantai 6 Tanpa Redaman dan Ber-Peredam (*Damper*)

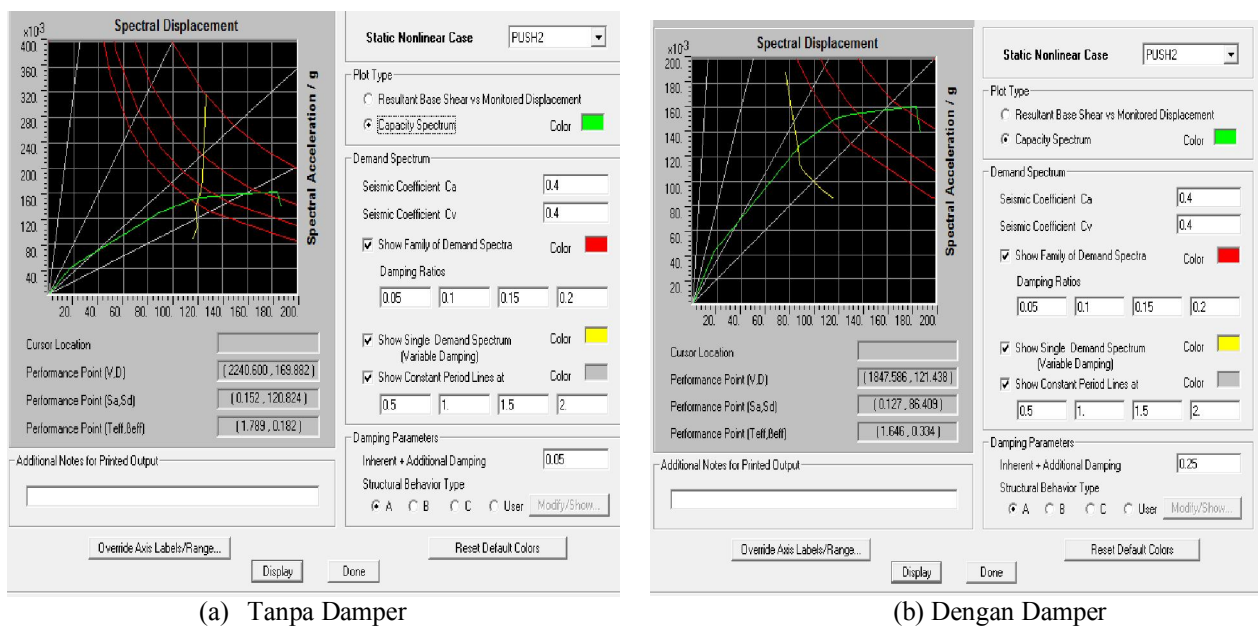
Dari grafik terlihat bahwa respon struktur terhadap pembebanan gempa *time history* menunjukkan terjadi reduksi simpangan lateral lantai rata-rata selama durasi gempa untuk lantai enam sebesar 0.68mm, hal ini mengindikasikan terjadi disipasi energy gempa yang masuk kedalam struktur, disipasi energy terjadi pada peredam.

### 3.5 Evaluasi Kinerja Struktur

Kinerja struktur dievaluasi dengan menggunakan *Performance Based Seismic Design*. Titik Kinerja struktur diperoleh dengan analisis nonlinier *Pushover*. Karena struktur semua model simetri pada arah sumbu X dan sumbu Y, maka hasil analisis adalah sama pada kedua arah tersebut.

#### a. Kinerja Struktur Tanpa dan dengan *Damper*.

Kapasitas *Spektrum*, *Demand Spektrum* dan *Performance point* ditunjukkan pada grafik berikut:

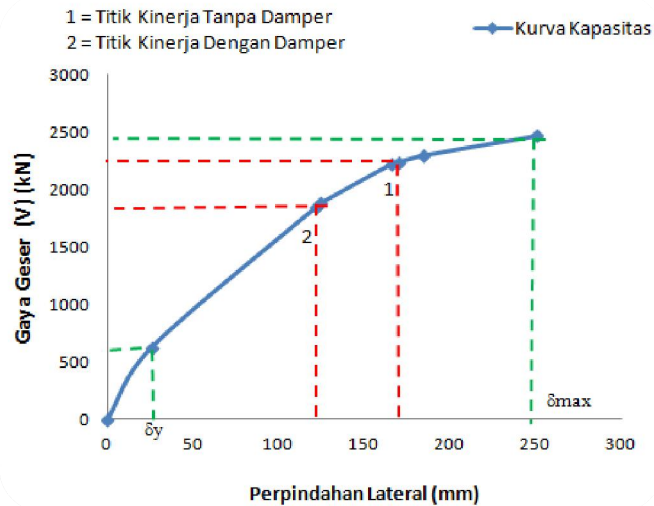


Gambar 13. Titik Kinerja Struktur Tanpa dan Dengan *Damper*,  $R=3,5$  Spektra Kapasitas, Spektra Kebutuhan Tunggal Dengan Redaman 5%, Dan Grup Spektra Kebutuhan

Dari grafik Gambar 13 diatas, disusun dalam Tabel 8 titik *Performance Point* yang menGambarkan titik kinerja struktur, yaitu titik yang menGambarkan nilai simpangan maksimum dan gaya geser dasar saat struktur menerima beban gempa rencana, sesaat sebelum runtuh.

Tabel 8. Titik Kinerja Model Struktur

Struktur R=3,5	V (kN)	D (mm)	T <sub>eff</sub>	β <sub>eff</sub>
Tanpa Damper	2240,6	169,880	1,789	0,182
Dengan Damper	1847,58	121,438	1,646	0,334



Gambar 14 . Perbandingan lokasi titik kinerja

Dari Tabel dan Gambar 12 terlihat bahwa lokasi titik kinerja (D,V) pada kasus struktur ber-peredam eksternal lebih rendah dari titik kinerja struktur tanpa peredam eksternal (damper). Hal ini disebabkan pada model struktur ber-peredam eksternal sebagian gaya gempa di disipasi oleh redaman eksternal (*Damper*). Drif ratio tanpa redaman eksternal =  $169.88/24000 = 0,007$  dan dengan be-rperedam eksternal =  $121.43/24000 = 0,005$  maka berdasarkan batas tingkat kinerja struktur ber-peredam eksternal dan tanpa peredam eksternal berturut-turut masuk dalam *Immediate Occupance (IO)* dan *Damage Control* menurut ATC-40.

Nilai redaman efektif (β<sub>eff</sub>) struktur pada kedua macam model, tanpa dan dengan ber-peredam eksternal lebih kecil dari batas redaman efektif untuk gedung baru sebesar 40%. Maka, model struktur memenuhi syarat kinerja ATC-40 tanah sedang. Hasil analisis pushover yang memperlihatkan kondisi sendi plastis tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis *Pushover*

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
0	0.0000	0.0000	744	1	0	0	0	0	0	0	745
1	25.4535	623.8180	667	35	43	0	0	0	0	0	745
2	124.2843	1883.8777	618	71	46	10	0	0	0	0	745
3	165.3795	2222.3784	576	93	58	18	0	0	0	0	745
4	184.3703	2299.2354	564	27	64	72	16	2	0	0	745
5	250.2134	2470.0459	563	28	64	72	12	0	0	6	745
6	250.2237	2179.4224	562	29	64	72	8	4	0	6	745
7	253.0199	2225.3755	561	30	64	72	6	0	0	12	745
8	253.0303	2021.4014	557	34	62	74	6	0	0	12	745
9	260.7849	2125.4690	557	34	62	74	6	0	0	12	745
10	139.7162	242.4222	745	0	0	0	0	0	0	0	745

Dengan

A : Titik Awal

B : *Yield Point* (titik Leleh)

OI: *Intermediet Occupancy* (Penggunaan sedang)

D : *Residual Point* (Titik sisa)

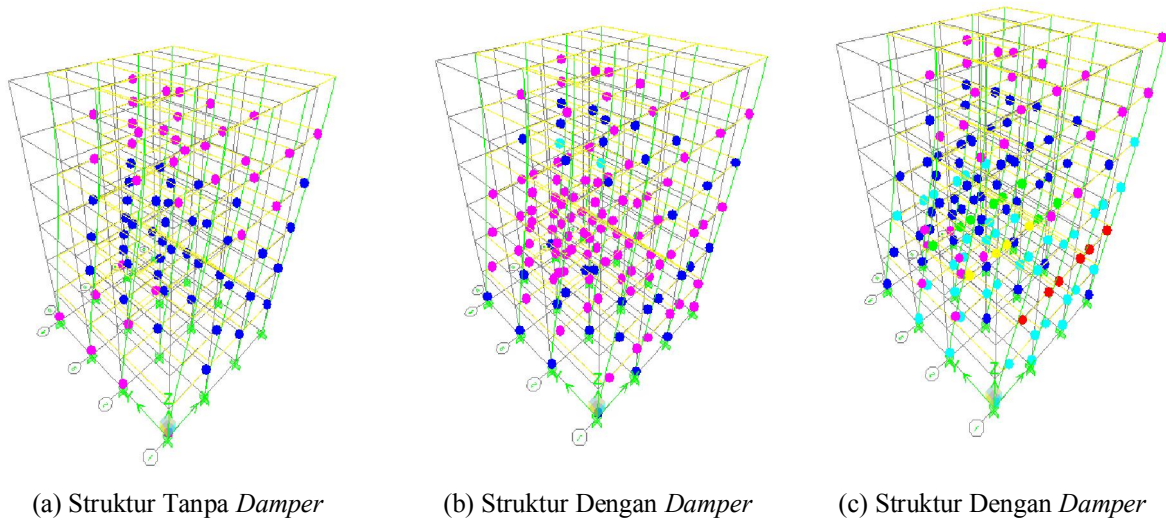
LS : *Life Safety* (Aman untuk dihuni)

CP : *Collapse Prevention* ( Pencegeahan keruntuhan)

C : *Ultimate Point* (Titik batas)

E : *Failure Point* (Titik keruntuhan)

Titik leleh terjadi pada step ke-2 dan titik keruntuhan pada step ke-7. Nilai daktilitas yang diperoleh  $\mu = 253,0199/124,2843 = 2.03$ , sesuai nilai daktilitas asumsi awal 2,1. Nilai gaya geser dasar saat terjadi target perpindahan dihitung dengan interpolasi berdasarkan data Tabel 9. Maka pada struktur tanpa redaman eksternal (Damper), saat terjadi perpindahan sebesar 169.88 mm, gaya geser dasar yang dialami adalah 2240 kN, Pada kondisi tersebut minimal telah terdapat 58 sendi plastis ditingkat *Immediate Occupancy*, 18 sendi plastis ditingkat *Life Safety*. Demikian pula untuk struktur berperedam, saat terjadi perpindahan sebesar 121,438 mm, gaya geser dasar 1847,58 kN, dan minimal telah terdapat 46 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy* dan 10 sendi plastis ditingkat *Life Safety*. Artinya baik tanpa dan dengan ber-peredam eksternal, struktur telah memasuki kondisi *inelastik*. Lokasi sendi plastik saat tercapai target perpindahan untuk kedua kasus diperlihatkan pada gambar 13, dan saat runtuh pada step 7 diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15. (a) dan (b) Distribusi Sendi Plastik Yang Terjadi Saat Target Perpindahan Dicapai, (c) Distribusi Sendi Plastik Saat Runtuh

### Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan pada model struktur gedung tanpa dan ber-peredam eksternal diperoleh kesimpulan:

1. Peredam getaran eksternal Tipe *Bresing Viscous Damper* mereduksi besar simpangan lateral maksimum lantai, dan mereduksi simpangan time history akibat beban gempa, juga mereduksi besar gaya geser tingkat (*shear story*)
2. Struktur berperedam eksternal *Bresing Viscous Damper* mempunyai titik kinerja (*Performance point*) yang lebih kecil jika dibanding dengan tanpa peredam.

Tanpa peredam:  $V = 2240,6$  kN,  $D = 169,88$  mm,  $T_{ef} = 1,789$  s,  $\beta_{ef} = 0,182$

Berperedam :  $V = 1847,58$  kN,  $D = 121,438$  mm,  $T_{ef} = 1,646$  s,  $\beta_{ef} = 0,334$

Hal ini menunjukkan model struktur tanpa peredam akan menahan beban gempa yang lebih besar.

Pemasangan peredam getaran eksternal *Bresing Viscous Damper* pada posisi silang diagonal sangat efektif dalam mereduksi gaya geser tingkat saat struktur melewati titik keseimbangan dalam gerak sikliknya, namun tidak efektif mereduksi gaya geser tingkat saat berada di simpangan terjauh atau pada percepatan maksimumnya.

Level kinerja struktur tanpa peredam masuk pada criteria Damage Control, sedangkan struktur berperedam masuk pada *Immediate Occupancy* (IO), semua syarat kinerja memenuhi ketentuan FEMA-273 dan ATC-40. Level kinerja struktur berperedam lebih baik dibanding tanpa peredam.

Pemasangan peredam eksternal viscous damper pada Struktur gedung yang dibangun di wilayah rawan gempa akan mereduksi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur sehingga tingkat keamanan terhadap keruntuhan gedung lebih tinggi.

### Ucapan Terima Kasih

Peneliti secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yaitu Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani, LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani dan Kemenristekdikti yang telah membantu dalam penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Ani N. Sigaher and Michael C. Constantinou 2003, Scissor-Jack-Damper Energy Dissipation System, *Earth Quake Spektra Volum 1 No. 1 February 2003*.
- Applied Technology Council (1995). Structural Response Modification Faktors (ATC 19). Redwood, USA.
- Applied Technology Council (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC40), Redwood, USA Chopra, Anil K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- Dauglas P. Taylor and Michael C. Constantinou 2007, "Fluid Dampers For Applications of Seismic Energy Dissipation And Seismic Isolation", [www. Taylordevices.com/Tech-paper-Archive/./42-Fluiddamper.pdf](http://www.Taylordevices.com/Tech-paper-Archive/./42-Fluiddamper.pdf)
- FEMA, (1997), NEHRP Guidelines and commentary for the seismic Rehabilitation of Building, Report No.273 and 274, October, Wasinton DC
- Hadi MNS, Arfiadi Y. Optimum Design Of Absorber for MDOF Structures. *Jurnal Structl Eng*, ASCE 1998; 124 (11): 1272-80.
- J.J. Connor. 'Intruduction to structural motion control'. John Wiley & Sons, 2001.
- Mishra R., "Application Tuned Mass Damper for Vibration Control of Frame Structures Under Seismic Excitations" thesis Magister Dep. of civil Engineering National institute of technology, Rourkela, India.
- Jenn Shin HWang, "Seismic Design of Structure With Viscous Dampers" 2002, International Training Programs for Seismic Design of Building Structures Hosted by NCREE.
- M. D. Symans, F. A. Charney, A. S. Whittaker, M. C. Constantinou, C. A. Kircher, M. W. Johnson, R. J. McNamara, "Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 134, No. 1, January, 2008.
- Nasution, A. 'Metode Numerik Dalam Ilmu Rekaya Sipil'. Penerbit ITB
- Paz, Mario., Leigh, W. (2004), 'Structural Dynamic Theory and Computation'; Van Nostrand Reinhold, New York.
- Takumi ISHII, Tomohisa MUKAI, Haruyuki KITAMURA, Takanori SHIMIZU, Kazuyoshi FUJISAWA and Youichi ISHIDA, 2004. "Seismic retrofit for existing r/c building using energy dissipative braces". *13th World Conference on Earthquake Engineering* Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004 Paper No. 1209
- Y.M. Parulekar and G.R. Reddy, "Passive Response Control Systems For Seismic Respons Reduction: A State Of The Art Review, *International Journal of Structural stability and Dynamic Vol 9*, 2009.