

## Kaji Numerik dan Eksperimental Unjuk Kerja Peredam Getaran Dinamik Ganda pada Model Struktur Bangunan

Lovely Son, Hafizah dan Mulyadi Bur

Laboratorium Dinamika Struktur, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas  
Kampus Unand Limau Manis, Padang-25163  
E-mail : lovelyson@ft.unand.ac.id

### Abstrak

Gempa menimbulkan getaran pada struktur bangunan. Getaran pada struktur bangunan tersebut dapat diminimalisir dengan penambahan peredam pada struktur. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menambahkan redaman pada struktur adalah penggunaan peredam dinamik. Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan peredam dinamik menggunakan sistem pendulum untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan akibat beban gempa. Akan tetapi, peredam yang dirancang hanya mampu mengurangi getaran pada frekuensi pribadi terendah sehingga amplitudo getaran pada frekuensi pribadi yang lain masih cukup besar. Dalam penelitian ini dikembangkan peredam dinamik yang dapat mengurangi amplitudo getaran pada dua frekuensi pribadi terendah dari sebuah struktur bangunan. Peredam yang dirancang menggunakan sistem massa-pegas dan pendulum. Sistem peredam dinamik diletakkan pada lantai atas bangunan. Efektifitas peredam dievaluasi secara numerik dan diuji dengan model eksperimen. Amplitudo getaran struktur di dekat dua frekuensi pribadi terendahnya dapat diredam dengan baik melalui sistem peredam yang dikembangkan. Hal ini disebabkan karena sebagian energi gangguan yang diserap struktur akan dipindahkan ke peredam dinamik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa getaran yang terjadi pada struktur bangunan berkurang cukup signifikan.

**Keywords:** getaran, bangunan, gempa, peredam, dinamik

### Pendahuluan

Dewasa ini, gempa bumi sering terjadi pada beberapa wilayah di Indonesia. Gempa bumi ini menimbulkan kerugian yang cukup besar yang salah satunya disebabkan oleh kerusakan dan robohnya struktur bangunan. Pada struktur bangunan bertingkat, efek gempa akan lebih berbahaya dibandingkan pada bangunan satu lantai. Hal ini disebabkan karena kekakuan bangunan bertingkat relatif lebih rendah dibandingkan dengan kekakuan bangunan satu lantai.

Untuk mendirikan bangunan bertingkat yang kokoh dan ramah gempa maka faktor utama yang perlu diperhatikan adalah kekakuan struktur dan sistem peredam getaran pada bangunan tersebut. Pada struktur bangunan, harga redaman biasanya sangat kecil sehingga respon struktur akibat gangguan yang berada di dekat frekuensi pribadinya mempunyai amplitudo yang sangat besar. Kondisi ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan kerusakan yang cukup parah dan bahkan merobohkan bangunan.

Para peneliti telah banyak melakukan penelitian untuk mengurangi efek gempa pada struktur bangunan. Beberapa penelitian menggunakan

isolator getaran untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan seperti penggunaan isolator komposit karet baja (Kaplan, H. and Seireg, A., 2001) dan sistem *rolling and sliding* (Wang, Y. P., and Liu, C. J., 1994). Penambahan peredam pada struktur bangunan untuk mengurangi energi getaran pada struktur telah diteliti oleh beberapa peneliti seperti penggunaan *viscous damper* (Lavan, O. and Levy, R., 2004), *friction damper* (Pasquin, etc., 2002) dan *magnetic damper* (Poynor, J., 2001).

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan adalah menggunakan peredam dinamik. Penggunaan peredam dinamik untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan telah diteliti oleh beberapa peneliti diantaranya adalah penggunaan *tuned mass damper* (Saidi I., etc., 2007) dan *tune liquid damper* (Fujino, Y. etc., 1998). Prinsip dasar peredam dinamik ini secara umum adalah dengan memindahkan getaran struktur yang diganggu pada salah satu frekuensi pribadinya ke suatu sistem getaran lain yang ditambahkan ke struktur. Teknik ini cukup efektif mengurangi getaran struktur pada frekuensi yang berada di dekat salah satu frekuensi pribadinya.

Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan peredam dinamik menggunakan sistem pendulum untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan akibat

beban gempa (Ega, A.R., etc., 2012). Akan tetapi peredam dinamik ini hanya bekerja efektif di dekat frekuensi pribadi pertama struktur. Untuk memaksimalkan penyerapan energi getaran gempa pada struktur khususnya di dekat dua buah frekuensi pribadi terendahnya, maka pada penelitian ini dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian peredam dinamik ganda. Peredam dinamik ganda yang dirancang menggunakan dua buah sistem getaran satu DOF yaitu sistem pendulum dan sistem massa-pegas. Kedua peredam dinamik ini dipasang sedemikian rupa pada lantai atas struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

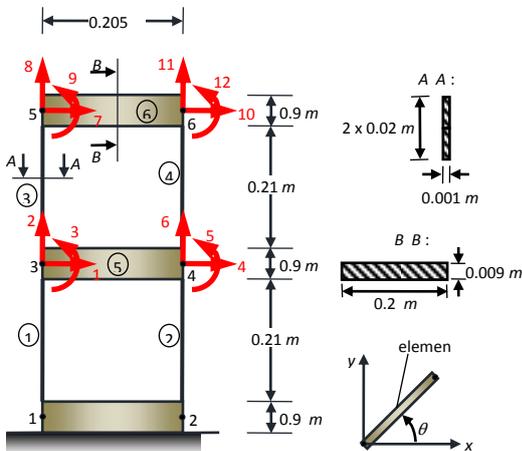


Gambar 1 Model struktur bangunan dengan peredam dinamik ganda

## Pemodelan Struktur

### Struktur Tanpa Peredam Dinamik

Pada Gambar 2 diperlihatkan pemodelan struktur bangunan dua lantai menggunakan struktur rangka bidang (*frame 2D*). Model elemen hingga struktur ini dibagi atas enam elemen dan enam nodal. Pada Gambar 2 terlihat bahwa struktur dijepit di nodal 1 dan nodal 2 sehingga derajat kebebasan total struktur menjadi 12.



Gambar 2 Pemodelan struktur bangunan

Matrik kekakuan lokal elemen dari struktur rangka bidang seperti ditunjukkan pada Gambar 2 diberikan oleh (Yang, T.Y., 1996):

$$[k_e] = \begin{bmatrix} AE/\ell & 0 & 0 & -AE/\ell & 0 & 0 \\ 0 & 12EI_z/\ell^3 & 6EI_z/\ell^2 & 0 & -12EI_z/\ell^3 & 6EI_z/\ell^2 \\ 0 & 6EI_z/\ell^2 & 4EI_z/\ell & 0 & -6EI_z/\ell^2 & 2EI_z/\ell \\ -AE/\ell & 0 & 0 & AE/\ell & 0 & 0 \\ 0 & -12EI_z/\ell^3 & -6EI_z/\ell^2 & 0 & 12EI_z/\ell^3 & -6EI_z/\ell^2 \\ 0 & 6EI_z/\ell^2 & 2EI_z/\ell & 0 & -6EI_z/\ell^2 & 4EI_z/\ell \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrik massa dari masing-masing elemen struktur rangka bidang pada koordinat lokal diberikan oleh (Yang, T.Y., 1996):

$$[m_e] = \frac{\rho A \ell}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ 0 & 156 & 22\ell & 0 & 54 & -13\ell \\ 0 & 22\ell & 4\ell^2 & 0 & 13\ell & 3\ell^3 \\ 70 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0 \\ 0 & 54 & 13\ell & 0 & 156 & -22\ell \\ 0 & -13\ell & 3\ell^3 & 0 & -22\ell & 4\ell^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dimana  $E$ ,  $A$ ,  $I_z$ ,  $\ell$  dan  $\rho$  masing-masing adalah modulus elastisitas, luas penampang, momen inersia, panjang dan massa jenis dari masing-masing elemen. Berdasarkan harga matrik kekakuan dan matrik massa masing-masing elemen pada koordinat lokal maka matrik kekakuan dan matrik massa pada koordinat global selanjutnya dihitung dengan

$$[k_g] = [T]^T [k_e] [T] \quad (3)$$

$$[m_g] = [T]^T [m_e] [T] \quad (4)$$

Dimana matrik  $[T]$  merupakan matrik transformasi yang diberikan oleh

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dengan menggabungkan matrik kekakuan global dan matrik massa global setiap elemen maka didapatkan matrik kekakuan struktur  $[K_s]$  dan matrik massa struktur  $[M_s]$  seperti ditunjukkan pada persamaan (6) dan (7).

$$[K_s] = \begin{bmatrix} 2b_1 + a_2 & 0 & 0 & -a_2 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & -c_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2a_1 + b_2 & c_2 & 0 & -b_2 & c_2 & 0 & -a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 4d_1 + 2d_2 & 0 & -c_2 & d_2 & c_1 & 0 & d_1 & 0 & 0 & 0 \\ -a_2 & 0 & 0 & 2b_1 + a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & -c_1 \\ 0 & -b_2 & -c_2 & 0 & 2a_1 + b_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_1 & 0 \\ 0 & c_2 & d_2 & 0 & -c_2 & 4d_1 + 2d_2 & 0 & 0 & 0 & c_1 & 0 & d_1 \\ -b_1 & 0 & c_1 & 0 & 0 & 0 & b_1 + a_2 & 0 & c_1 & -a_2 & 0 & 0 \\ 0 & -a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_1 + b_2 & c_2 & 0 & -b_2 & c_2 \\ -c_1 & 0 & d_1 & 0 & 0 & 0 & c_1 & c_2 & 2d_1 + 2d_2 & 0 & -c_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & c_1 & -a_2 & 0 & 0 & b_1 + a_2 & 0 & c_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -a_1 & 0 & 0 & -b_2 & -c_2 & 0 & a_1 + b_2 & -c_2 \\ 0 & 0 & 0 & -c_1 & 0 & d_1 & 0 & c_2 & d_2 & c_1 & -c_2 & 2d_1 + 2d_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[M_s] = \begin{bmatrix} 312a + 140b & 0 & 0 & 70b & 0 & 0 & 54a & 0 & 13\ell_{sp} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 280a + 156b & 22\ell_{ms} b & 0 & 54b & -13\ell_{ms} b & 0 & 70a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 22\ell_{ms} b & 8\ell_{sp}^2 a + 4\ell_{ms}^2 b & 0 & 13\ell_{ms} b & -3\ell_{ms}^2 b & -13\ell_{sp} a & 0 & -3\ell_{sp}^2 a & 0 & 0 & 0 \\ 70b & 0 & 0 & 312a + 140b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 54a & 0 & 13\ell_{sp} a \\ 0 & 54b & 13\ell_{ms} b & 0 & 280a + 156b & -22\ell_{ms} b & 0 & 0 & 0 & 0 & 70a & 0 \\ 0 & -13\ell_{ms} b & -3\ell_{ms}^2 b & 0 & -22\ell_{ms} b & 8\ell_{sp}^2 a + 4\ell_{ms}^2 b & 0 & 0 & 0 & -13\ell_{sp} a & 0 & -3\ell_{sp}^2 a \\ 54a & 0 & -13\ell_{sp} a & 0 & 0 & 0 & 156a + 140b & 0 & 22\ell_{sp} a & 70b & 0 & 0 \\ 0 & 70a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140a + 156b & 22\ell_{ms} b & 0 & 54b & -13\ell_{ms} b \\ 13\ell_{sp} a & 0 & -3\ell_{sp}^2 a & 0 & 0 & 0 & 22\ell_{sp} a & 22\ell_{ms} b & 4(\ell_{sp}^2 a + \ell_{ms}^2 b) & 0 & 13\ell_{ms} b & -3\ell_{ms}^2 b \\ 0 & 0 & 0 & 54a & 0 & -13\ell_{sp} a & 70b & 0 & 0 & 156a + 140b & 0 & 22\ell_{sp} a \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 70a & 0 & 0 & 54b & 13\ell_{ms} b & 0 & 140a + 156b & -22\ell_{ms} b \\ 0 & 0 & 0 & 13\ell_{sp} a & 0 & -3\ell_{sp}^2 a & 0 & -13\ell_{ms} b & -3\ell_{ms}^2 b & 22\ell_{sp} a & -22\ell_{ms} b & 4(\ell_{sp}^2 a + \ell_{ms}^2 b) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dimana:

$$a = \frac{\rho_{sp} A_{sp} \ell_{sp}}{420} \quad b_1 = \frac{12E_{sp} I_{zsp}}{(\ell_{sp})^3} \quad c_2 = \frac{6E_{ms} I_{zms}}{(\ell_{ms})^2}$$

$$b = \frac{\rho_{ms} A_{ms} \ell_{ms}}{420} \quad b_2 = \frac{12E_{ms} I_{zms}}{(\ell_{ms})^3} \quad d_1 = \frac{2E_{sp} I_{zsp}}{\ell_{sp}}$$

$$a_1 = \frac{A_{sp} E_{sp}}{\ell_{sp}} \quad c_1 = \frac{6E_{sp} I_{zsp}}{(\ell_{sp})^2} \quad d_2 = \frac{2E_{ms} I_{zms}}{\ell_{ms}}$$

$$a_2 = \frac{A_{ms} E_{ms}}{\ell_{ms}}$$

Berdasarkan matrik massa dan matrik kekakuan struktur pada persamaan (6) dan (7) maka persamaan difrensial gerak struktur tanpa redaman dapat dituliskan sebagai berikut:

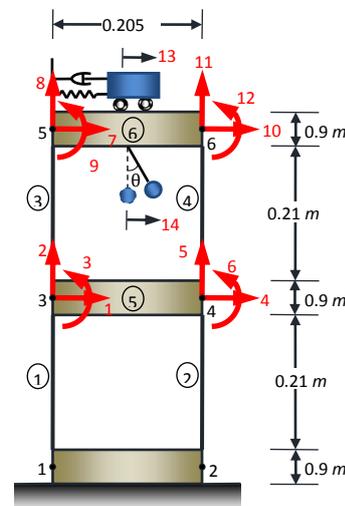
$$[M_s] \{\ddot{X}\} + [K_s] \{X\} = \{F\} \quad (8)$$

Dimana  $\{F\}$  menyatakan vektor gaya yang bekerja pada setiap derajat kebebasan struktur.

### Struktur Dengan Peredam Dinamik

Pemodelan struktur dengan peredam dinamik

menggunakan prosedur yang sama dengan pemodelan struktur tanpa peredam dinamik yaitu menggunakan model struktur rangka bidang (*frame 2D*). Akan tetapi, struktur dengan peredam dinamik memiliki derajat kebebasan 14 karena adanya penambahan dua peredam dinamik yang masing-masing memiliki satu derajat kebebasan. Pemodelan struktur bangunan dua lantai dengan peredam dinamik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pemodelan struktur bangunan dengan peredam dinamik

Dengan penambahan dua peredam dinamik seperti ditunjukkan pada Gambar 3 maka matrik

kekakuan dan matrik massa struktur dengan peredam dinamik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$[K_s] = \begin{bmatrix} 2b_1 + a_2 & 0 & 0 & -a_2 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & -c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2a_1 + b_2 & c_2 & 0 & -b_2 & c_2 & 0 & -a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 4d_1 + 2d_2 & 0 & -c_2 & d_2 & c_1 & 0 & d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_2 & 0 & 0 & 2b_1 + a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & -c_1 & 0 & 0 \\ 0 & -b_2 & -c_2 & 0 & 2a_1 + b_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & d_2 & 0 & -c_2 & 4d_1 + 2d_2 & 0 & 0 & 0 & c_1 & 0 & d_1 & 0 & 0 \\ -b_1 & 0 & c_1 & 0 & 0 & 0 & b_1 + a_2 + kt & 0 & c_1 & -a_2 & 0 & 0 & kt & 0 \\ 0 & -a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_1 + b_2 & c_2 & 0 & -b_2 & c_2 & 0 & 0 \\ -c_1 & 0 & d_1 & 0 & 0 & 0 & c_1 & c_2 & 2d_1 + 2d_2 & 0 & -c_2 & d_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -b_1 & 0 & c_1 & -a_2 & 0 & 0 & b_1 + a_2 & 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -a_1 & 0 & 0 & -b_2 & -c_2 & 0 & a_1 + b_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_1 & 0 & d_1 & 0 & c_2 & d_2 & c_1 & -c_2 & 2d_1 + 2d_2 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & kt & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & kt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[M_s] = \begin{bmatrix} 12a + 140b & 0 & 0 & 70b & 0 & 0 & 54a & 0 & 13f_{ms} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 280a + 156b & 22f_{ms} & 0 & 54b & -13f_{ms} & 0 & 70a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 22f_{ms} & 8f_{ms}^2 a + 4f_{ms}^2 b & 0 & 13f_{ms} & -3f_{ms}^2 & -13f_{ms} & 0 & -3f_{ms}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 70b & 0 & 0 & 312a + 140b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 54a & 0 & 13f_{ms} & 0 & 0 \\ 0 & 54b & 13f_{ms} & 0 & 280a + 156b & -22f_{ms} & 0 & 0 & 0 & 0 & 70a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -13f_{ms} & -3f_{ms}^2 & 0 & -22f_{ms} & 8f_{ms}^2 a + 4f_{ms}^2 b & 0 & 0 & -13f_{ms} & 0 & -3f_{ms}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 54a & 0 & -13f_{ms} & 0 & 0 & 0 & 156a + 140b + mpt & 0 & 22f_{ms} & 70b & 0 & 0 & 0 & mpt \times R \\ 0 & 70a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 140a + 156b & 22f_{ms} & 0 & 54b & -13f_{ms} & 0 & 0 \\ 13f_{ms} & 0 & -3f_{ms}^2 & 0 & 0 & 0 & 22f_{ms} & 22f_{ms} & 4(f_{ms}^2 a + f_{ms}^2 b) & 0 & 13f_{ms} & -3f_{ms}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 54a & 0 & -13f_{ms} & 70b & 0 & 0 & 156a + 140b & 0 & 22f_{ms} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 70a & 0 & 0 & 54b & 13f_{ms} & 0 & 140a + 156b & -22f_{ms} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13f_{ms} & 0 & -3f_{ms}^2 & 0 & -13f_{ms} & -3f_{ms}^2 & 22f_{ms} & -22f_{ms} & 4(f_{ms}^2 a + f_{ms}^2 b) & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & mpt \times R & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & mpt \times R^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dimana  $mt$ ,  $mpl$ ,  $kt$  dan  $R$  masing-masing menyatakan massa peredam dinamik massa-pegas, massa pendulum, kekakuan peredam dinamik massa-pegas dan panjang tali pendulum.

**Analisis Modal**

Perhitungan respon struktur dilakukan dengan bantuan analisis modal. Dalam hal ini, persamaan gerak struktur dengan peredam dinamik dalam koordinat modal dapat dituliskan sebagai berikut(Ewins, D.J., 2000)

$$M_{\text{modal}} \{\ddot{q}\} + C_{\text{modal}} \{\dot{q}\} + K_{\text{modal}} \{q\} = \phi^T F(t) \quad (11)$$

Dalam hal ini:

$$M_{\text{modal}} = \phi^T [M_s] \phi ; K_{\text{modal}} = \phi^T [K_s] \phi \quad (12)$$

Dimana:  $\phi$  = eigen vektor,  $F(t)$  = gaya gangguan

Redaman modal( $C_{\text{modal}}$ ) pada persamaan (11) ditambahkan untuk mensimulasikan kondisi aktual struktur dengan penambahan redaman akibat peredam dinamik maupun karena kondisi redaman *inherent* yang terdapat pada struktur.

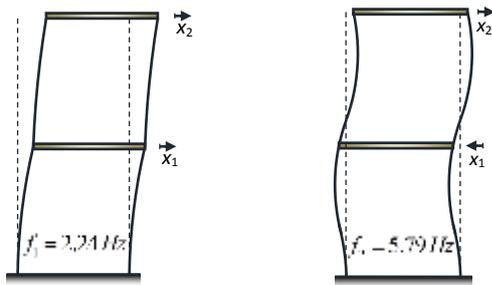
**Simulasi**

Program simulasi model struktur bangunan menggunakan struktur rangka bidang dibuat dengan bahasa pemograman MATLAB. Dari hasil simulasi diperoleh harga frekuensi pribadi pada dua modus getar terendah struktur seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Frekuensi Pribadi Struktur

$f_1$	2.24 Hz
$f_2$	5.79 Hz

Bentuk modus getar pertama dan kedua struktur diperlihatkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 terlihat bahwa simpangan yang terjadi pada lantai atas struktur cukup besar, baik pada modus getar pertama maupun pada modus getar kedua.



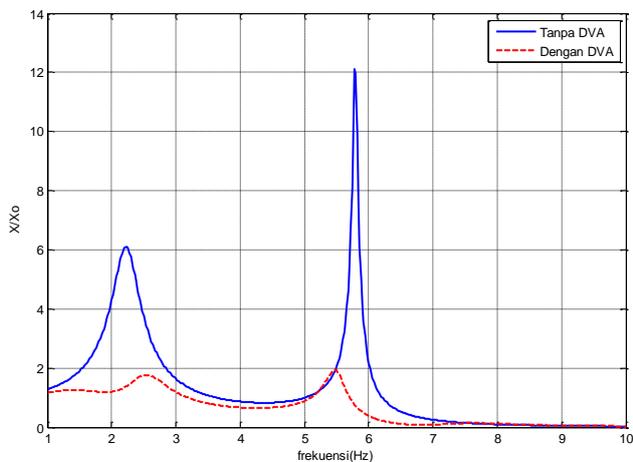
Gambar 4 Modus getar pertama dan modus getar kedua struktur

Kedua peredam dinamik dirancang berdasarkan harga frekuensi pribadi struktur pada Tabel 1. Spesifikasi peredam dinamik ini ditunjukkan pada Tabel 2. Dalam hal ini, peredam dinamik diletakkan pada lantai atas struktur bangunan karena simpangan pada posisi tersebut cukup besar untuk kedua modus getar struktur.

Tabel 2 Karakteristik peredam dinamik

f	Jenis DVA	Spesifikasi	Harga
1	Pendulum	Massa	0.51 kg
		Panjang tali	0.05 m
2	Massa-pegas	Massa	0.56 kg
		Kekuan pegas	737.97 N/m

Dengan menggunakan data spesifikasi peredam dinamik pada Tabel 2, dilakukan simulasi respon struktur menggunakan program MATLAB. Perbandingan respon frekuensi struktur hasil simulasi dengan dan tanpa peredam dinamik diperlihatkan pada Gambar 5. Pada Gambar 5 ini terlihat bahwa peredam dinamik cukup baik mengurangi respon struktur pada kedua frekuensi pribadi terendah dari struktur.



Gambar 5 Hasil simulasi modus getar struktur tanpa dan dengan Peredam Dinamik

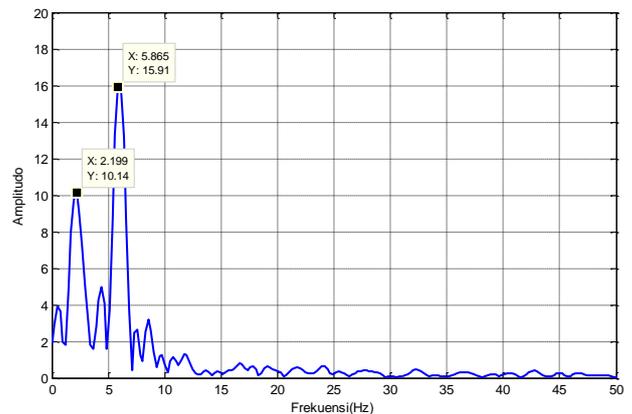
Pada Gambar 5, variable  $X$  menyatakan simpangan yang terjadi pada lantai atas struktur

dan  $X_0$  merupakan gangguan berupa simpangan yang terjadi pada tumpuan struktur.

### Eksperimen

#### Pengujian Frekuensi Pribadi Struktur Secara Eksperimen

Peredam dinamik dirancang berdasarkan harga frekuensi pribadi aktual struktur yang diperoleh dari eksperimen. Untuk mendapatkan harga frekuensi pribadi struktur secara eksperimen dilakukan pengujian dengan memberikan beban *impact* pada struktur. Dari hasil pengujian *impact* tersebut diperoleh nilai frekuensi pribadi struktur seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik frekuensi pribadi struktur tanpa peredam dinamik hasil eksperimen

#### Perancangan Peredam Dinamik

Peredam dinamik yang digunakan terdiri atas dua jenis. Peredam dinamik pertama berupa sistem pendulum digunakan untuk mengurangi respon struktur di dekat frekuensi pribadi pertamanya. Bentuk dari pendulum yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 7. Parameter pendulum ini dihitung untuk mendapatkan panjang tali yang cocok sehingga frekuensi pribadi sistem pendulum sesuai dengan frekuensi pribadi pertama dari struktur.



Gambar 7 Sistem Pendulum

Peredam dinamik kedua berupa sistem massa-pegas berfungsi untuk mengurangi respon struktur di dekat frekuensi pribadi keduanya. Karakteristik dari sistem massa-pegas ini telah diperoleh dari hasil simulasi menggunakan program MATLAB. Massa dan kekakuan pegas yang digunakan untuk peredam dinamik ini dirancang sedemikian rupa sehingga frekuensi pribadinya sesuai dengan frekuensi pribadi kedua dari

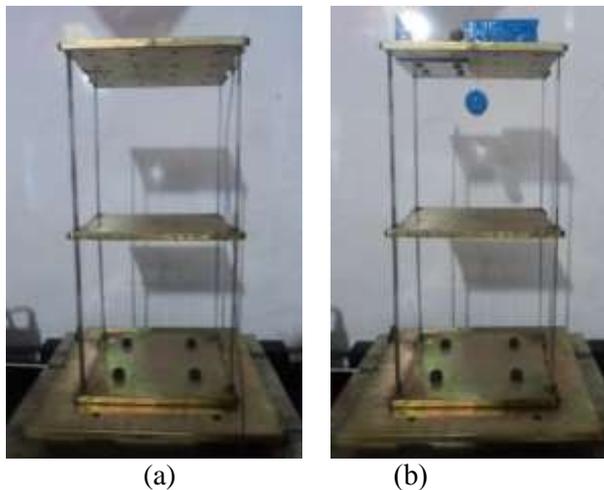
struktur. Sistem massa-pegas ini dipasang pada lantai atas struktur bangunan seperti terlihat pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8 Sistem massa-pegas

**Pengujian Efektifitas Peredam Dinamik Ganda Pada Struktur Bangunan**

Pengujian dilakukan dengan dua kondisi. Pada kondisi pertama struktur diuji tanpa peredam dinamik, sedangkan pada kondisi kedua struktur yang diuji menggunakan peredam dinamik. Pada Gambar 9 diperlihatkan foto struktur dengan dan tanpa peredam dinamik.



Gambar 9 Model struktur bangunan (a) tanpa peredam dinamik dan (b) dengan peredam dinamik

Harga parameter dari struktur dan peredam dinamik diperlihatkan pada Tabel 3.

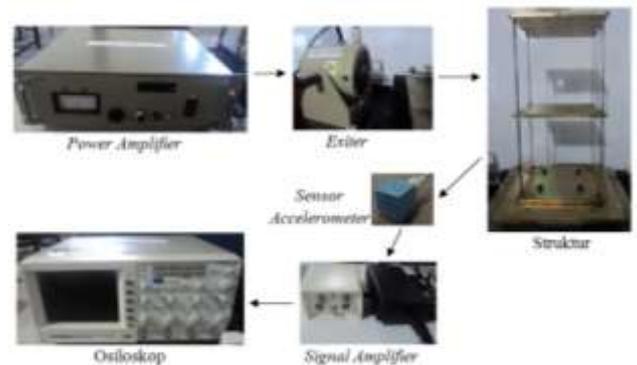
Tabel 3 Karakteristik struktur uji

Parameter	Satuan	Harga
Massa lantai 1	Kg	3.04
Massa lantai 2	Kg	3.01
DVA 1 (pendulum)	Massa	0.51
	Panjang tali	m
DVA 2 (massa-pegas)	Massa	0.56
	Kekakuan pegas	N/m

Skema pengujian diperlihatkan pada Gambar 10. Pencuplikan data dilakukan menggunakan sensor accelerometer. Sensor accelerometer berfungsi untuk mengukur percepatan getaran yang terjadi pada struktur. Sensor accelerometer ini

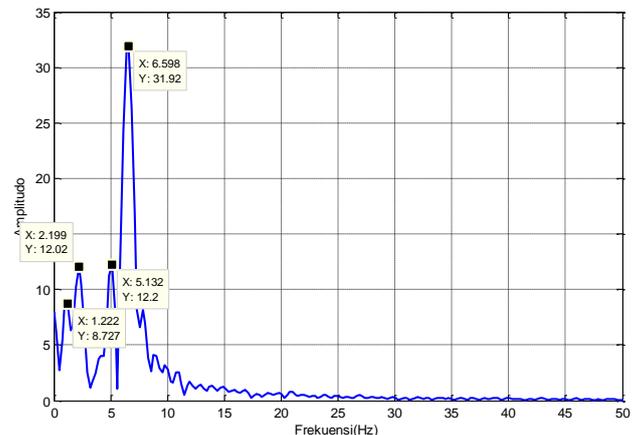
ditempelkan pada lantai atas struktur. Untuk memperkuat sinyal keluaran sensor digunakan *voltage amplifier*. Sinyal ini selanjutnya diteruskan ke osiloskop untuk ditampilkan dan disimpan dalam alat penyimpan data *flasdisk* dalam bentuk sinyal digital. Data digital ini selanjutnya diolah menggunakan *software* MATLAB pada komputer.

Gaya gangguan pada tumpuan struktur dihasilkan oleh *exciter*. Harga amplitudo dan frekuensi gangguan pada *exciter* dapat diatur dengan *power amplifier*. Frekuensi gangguan pada *power amplifier* divariasikan dari 1-10 Hz.



Gambar 10 Skema pelaksanaan pengujian

Pada Gambar 11 diperlihatkan hasil pengujian *impact* struktur dengan peredam dinamik. Dari Gambar 11 ini dapat dilihat bahwa struktur dengan peredam dinamik memiliki respon frekuensi dengan empat buah puncak yang dominan. Pada Tabel 4 diperlihatkan hasil pengujian frekuensi pribadi struktur tanpa dan dengan peredam dinamik.

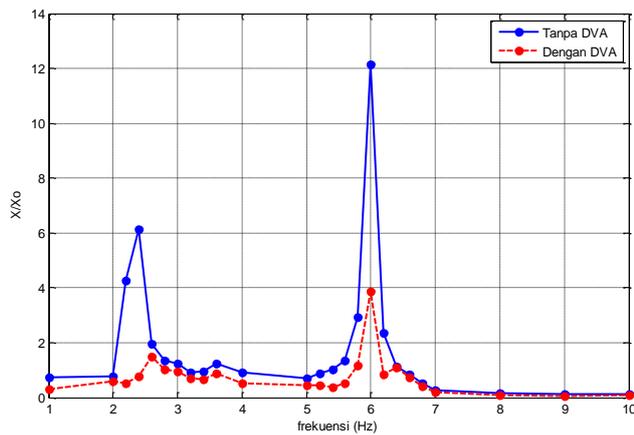


Gambar 11 Grafik frekuensi pribadi struktur dengan peredam dinamik hasil eksperimen

Tabel 4 Hasil pengujian frekuensi pribadi struktur

Frekuensi pribadi	Harga (Hz)	
	Tanpa DVA	Dengan DVA
1	2.20	1.22
2	5.86	2.20
3		5.13
4		6.60

Pada Gambar 12 diperlihatkan grafik hasil pengujian perbandingan respon struktur tanpa dan dengan peredam dinamik. Pada daerah di dekat frekuensi pribadi struktur terjadi penurunan respon yang cukup besar. Respon struktur di dekat frekuensi pribadi pertama sekitar 2.2 Hz diredam oleh peredam dinamik pertama (sistem pendulum), sedangkan respon struktur pada frekuensi pribadi kedua sekitar 5.8 Hz diredam oleh peredam dinamik kedua (sistem massa-pegas).



Gambar 12 Grafik hasil pengujian respon frekuensi struktur tanpa dan dengan peredam dinamik.

## Kesimpulan

Penggunaan peredam dinamik ganda berupa sistem pendulum dan sistem massa pegas pada struktur bangunan mampu menyerap energi getaran yang terjadi pada struktur yang diganggu di dekat dua frekuensi pribadi terendah dari struktur.

## Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai oleh dana penelitian Hibah Bersaing DIKTI tahun 2013 dengan nomor kontrak: No.4/UN.16/PL-H8/2013. Atas bantuan dana penelitian yang diberikan penulis mengucapkan terima kasih.

## Referensi

- Ewins, D.J., "Modal Testing: Theory, Practice and Application", Research Studies Press Ltd. England(2000).
- Fujino, Y. etc., "Parametric Studies on Tuned Liquid Damper (TLD) Using Circular Containers by Free-Oscillation Experiments", Structural Eng. Vol. 5. No. 2, pp 381 – 391, Japan Society of Civil Engineering(1998).

Kaplan, H. and Seireg, A., "Optimal design of a base Isolated system for a high rise steel structure ", Earthquake Engineering And Structural Dynamics 30, pp 287- 302(2001).

Lavan, O. and Levy, R., "Optimal Design of Supplemental Viscous Dampers for Linear Framed Structures", 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada(2004).

Pasquin, etc., "Friction Dampers For Seismic Rehabilitation Of Eaton Building, Montreal", 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering(2002).

Poynor, J., "Innovative Designs for Magneto-Rheological Dampers", Advanced Vehicle Dynamics Laboratory Virginia Polytechnic Institute and State University(2001).

Saidi I, etc., "Optimum Design for Passive Tuned Mass Dampers Using Viscoelastic Materials", Australian Earthquake Engineering Society Conference(2007).

Son, L., "Kaji Teoretik Efektifitas Peredam Getaran Hibrid Pada Struktur Bangunan", Seminar Nasional Teknik Mesin IX (SNTTM IX), Palembang(2010).

Wang, Y. P., and Liu, C. J., "Active Control of Sliding Structures under Strong Earthquakes", First World Conference on Structural Control, Los Angeles, California, USA(1994).

Yang, T.Y., "Finite element Structural Analysis", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey(1996).