

Kaji Banding Dua Konfigurasi Peredam Dinamik TMD dan TLCD Dalam Mengurangi Respon Getaran Struktur Akibat Beban Gempa

Lovely Son^{1,*} dan Mulyadi Bur¹

¹Laboratorium Dinamika Struktur, Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Indonesia

*lovelyson@ft.unand.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini, diusulkan dua konfigurasi pemosisian peredam dinamik TMD dan TLCD pada struktur geser dua derajat kebebasan. Kedua konfigurasi TMD dan TLCD tersebut dibandingkan untuk melihat unjuk kerja peredam dinamik dalam mengurangi respon getaran struktur. Harga optimum dari parameter peredam dinamik diperoleh menggunakan prosedur optimasi Algoritma Genetika(GA). Prosedur optimasi digunakan untuk mendapatkan harga minimum rasio respon struktur terhadap gangguan pada tumpuan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa posisi peredam dinamik TLCD yang berada di atas TMD menghasilkan penurunan respon getaran yang lebih besar dibandingkan posisi TLCD dan TMD yang diletakkan di lantai dua pada struktur.

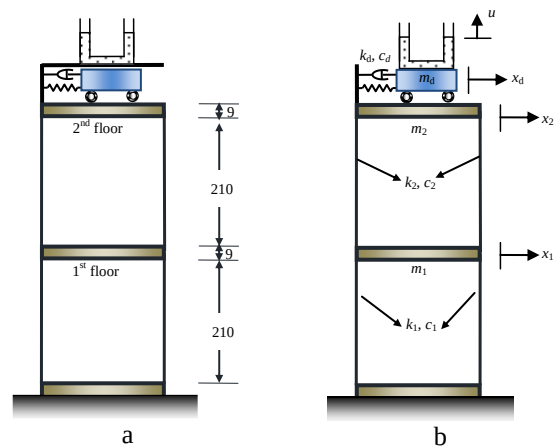
Kata kunci : getaran, struktur, dinamik, TMD, TLCD

Pendahuluan

Beban dinamik yang terjadi pada struktur dapat menimbulkan efek yang merugikan seperti mengurangi kenyamanan dan pada level yang cukup besar dapat merusak struktur[1]. Pada struktur dengan ukuran cukup besar seperti bangunan bertingkat, teknik yang umum digunakan untuk mengurangi respon struktur akibat beban dinamik adalah dengan penggunaan peredam dinamik[2]. Teknik pengendalian getaran menggunakan peredam dinamik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode pengendalian getaran lainnya seperti sederhana dalam konstruksi serta mudah dalam perawatannya.

Pada penelitian sebelumnya telah diusulkan suatu kombinasi dari peredam dinamik TMD dan TLCD untuk mengurangi getaran pada model struktur geser dua derajat kebebasan. Pada penelitian ini dikaji perbandingan unjuk kerja dari peredam dinamik TMD dan TLCD menggunakan dua alternatif

konfigurasi seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Simulasi numerik dilakukan untuk mengevaluasi konfigurasi peredam dinamik yang paling cocok diterapkan pada struktur yang mengalami beban gempa.



Gambar 1. Dua konfigurasi dari peredam dinamik TMD dan TLCD

Pemodelan dinamik fluida di dalam TLCD

Persamaan gerak fluida yang berada di dalam kolom TLCD diturunkan

menggunakan persamaan Bernoulli pada fluida yang bergerak[2]:

$$\ddot{u} + 2\zeta_A \omega_A \dot{u} + \omega_A^2 u = -\kappa \ddot{x}_{TLCD} \quad (1)$$

dimana

$$\kappa = \frac{B + 2H \cos \beta}{L_{eff}}, \quad L_{eff} = 2H + \frac{A_H}{A_B} B, \quad \zeta_A = \frac{4U_0 \delta_L}{3\pi}$$

Variabel κ and L_{eff} menyatakan faktor penghubung geometri dan panjang efektif dari fluida di dalam TLCD. U_0 dan δ_L merupakan simpangan maksimum wadah TLCD dan koefisien rugi-rugi gesekan akibat turbulensi di dalam kolom TLCD dan tambahan rugi-rugi akibat orifis. H , B dan β adalah panjang kolom horisontal, kolom vertikal dan sudut antara kolom vertikal dan horisontal[2]. Variabel $\ddot{x}_{TLCD}$ menyatakan percepatan dari wadah TLCD yang harganya tergantung dari lokasi penempatan TLCD. Frekuensi pribadi fluida yang bergerak di dalam wadah TLCD diberikan oleh[2]:

$$\omega_A = \sqrt{\frac{2g \sin \beta}{L_{eff}}} \quad (2)$$

Dengan menerapkan hukum Newton terhadap gerak fluida dengan massa m_f yang berada dalam wadah TLCD maka dapat dihitung gaya yang timbul akibat gerakan fluida di dalam TLCD sebagai berikut:

$$F_h = m_f (\ddot{x}_{TLCD} + \bar{\kappa} \ddot{u}), \quad \bar{\kappa} = \frac{B + 2H \cos \beta}{L_1} \quad (3)$$

$$m_f = \rho(2HA_H + BA_B) = \rho A_H L_1 \quad (4)$$

Dengan menggunakan Pers.(1) dan (4) maka persamaan gerak dari struktur dengan peredam dinamik TMD dan TLCD dapat diperoleh.

Model Konfigurasi Pertama

Pada konfigurasi pertama ini, TMD dan TLCD diletakkan di lantai dua dari struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 1a. Persamaan gerak sistem dapat dituliskan dalam bentuk matriks berikut [3]:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 + m_f & 0 & m_f \bar{\kappa} \\ 0 & 0 & m_d & 0 \\ 0 & \kappa & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_d \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_d & -c_d & 0 \\ 0 & -c_d & c_d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\zeta_A \omega_A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_d \\ \dot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_d & -k_d & 0 \\ 0 & -k_d & k_d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_A^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_d \\ u \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_1 \\ m_2 + m_f \\ m_d \\ \kappa \end{Bmatrix} \ddot{x}_0 \quad (5)$$

Model Konfigurasi Kedua

Pada konfigurasi kedua, TLCD diletakkan di atas TMD seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. Dengan menggunakan prosedur yang sama dengan penurunan model konfigurasi pertama, maka dapat diturunkan persamaan gerak sistem untuk konfigurasi kedua sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_d + m_f & m_f \bar{\kappa} \\ 0 & 0 & \kappa & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_d \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_d & -c_d & 0 \\ 0 & -c_d & c_d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\zeta_A \omega_A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_d \\ \dot{u} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_d & -k_d & 0 \\ 0 & -k_d & k_d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_A^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_d \\ u \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_d + m_f \\ \kappa \end{Bmatrix} \ddot{x}_0 \quad (6)$$

Persamaan (6) menunjukkan bahwa gangguan horisontal diberikan dalam bentuk simpangan x_0 pada tumpuan struktur. Dari Pers.(5) dan (6) terlihat bahwa perubahan lokasi penempatan TLCD hanya mempengaruhi harga matriks massa dan komponen gaya eksitasi pada sistem. Persamaan gerak sistem dalam bentuk matriks dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{x}}\} + [\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{x}}\} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{x}\} = \{\mathbf{f}\} \quad (7)$$

Dimana $[\mathbf{M}]$, $[\mathbf{C}]$ dan $[\mathbf{K}]$ berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan sistem. Dengan menggunakan teknik analisis modal, maka persamaan gerak struktur dengan peredam dinamik dapat dituliskan kembali ke dalam bentuk koordinat modal sebagai berikut:

$$[\mathbf{m}_r]\{\ddot{\mathbf{q}}\} + [\mathbf{c}_r]\{\dot{\mathbf{q}}\} + [\mathbf{k}_r]\{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{p}\} \quad (8)$$

dimana

$$\{\mathbf{q}\} = [\Phi]^{-1} \{\mathbf{x}\} \text{ and } \{\mathbf{p}\} = [\Phi]\{\mathbf{f}\} \quad (9)$$

Kaji Numerik

Harga parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ditampilkan pada Tabel 1. Model struktur geser dua derajat kebebasan terdiri atas dua massa terpusat yang disambungkan menggunakan empat buah balok baja. Dalam hal ini, panjang dari balok jauh lebih besar dibandingkan dengan lebar maupun tebalnya. Berdasarkan kondisi ini maka keempat balok tersebut dapat diasumsikan sebagai sebuah pegas[4]. Harga kekakuan dari pegas ini diberikan oleh:

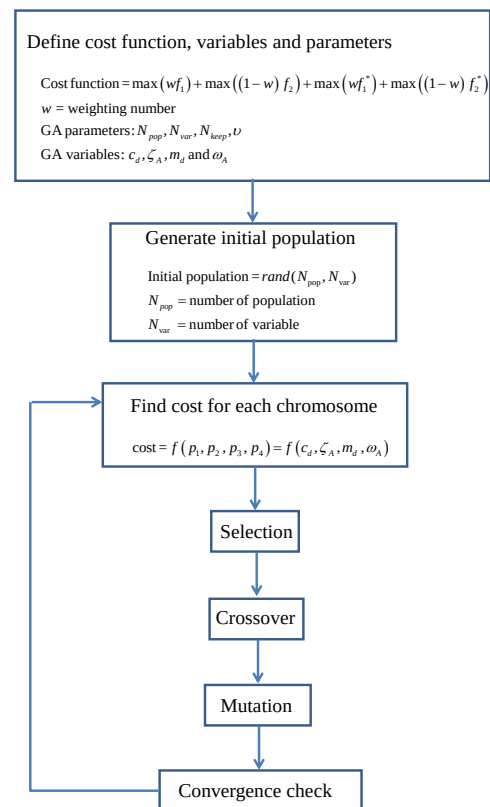
$$k_1 = k_2 = 4 \times \frac{12E_b I_b}{(\ell_b)^3} \quad (10)$$

Dalam simulasi, harga redaman struktur c_1 dan c_2 dipilih sebesar 0.3.

Tabel 1 Parameter simulasi

No	Parameter	Harga
1	Massa dari lantai 1 (m_1)	3.035 kg
2	Massa dari lantai 2 (m_2)	3.010 kg
3	Panjang balok (ℓ_b)	210 mm
4	Momen inersia balok (I_b)	1.667 mm ⁴
5	Modulus elastisitas balok (E_b)	190 MPa
6	Luas penampang balok (A)	20 mm ²
7	Sudut antara kolom vertikal dan kolom horisontal TLCD (β)	90°
8	Massa TMD (m_d)	0.1 kg

Variabel perancangan TMD yang digunakan dalam prosedur optimasi adalah kekakuan peredam (k_d) dan koefisien redaman (c_d). Pada peredam dinamik TLCD, variable yang dirancang adalah dimensi kolom vertikal dan horisontal (H and B) dan rasio redaman pada fluida (ζ_a). Tujuan dari optimasi adalah untuk meminimumkan harga maksimum dari rasio perpindahan antara lantai dua dan tumpuan struktur. Dalam hal ini, dimensi peredam digunakan sebagai faktor pembatas dalam proses optimasi. Pada Gambar 2 diperlihatkan prosedur optimasi menggunakan Algoritma Genetika[3].



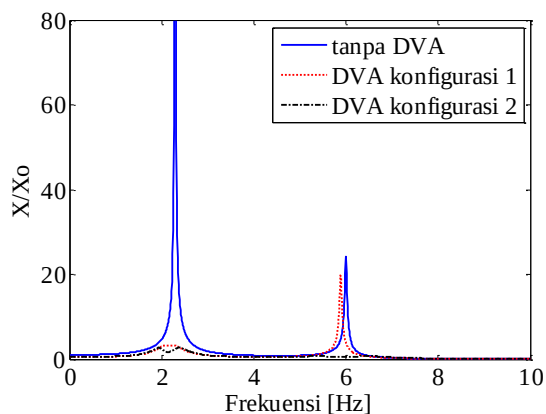
Gambar 2. Optimasi variabel peredam dinamik menggunakan GA[3]

Pada Tabel 2 ditunjukkan parameter optimum yang diperoleh dari peredam dinamik konfigurasi 1 dan konfigurasi 2.

Tabel 2 Parameter hasil optimasi

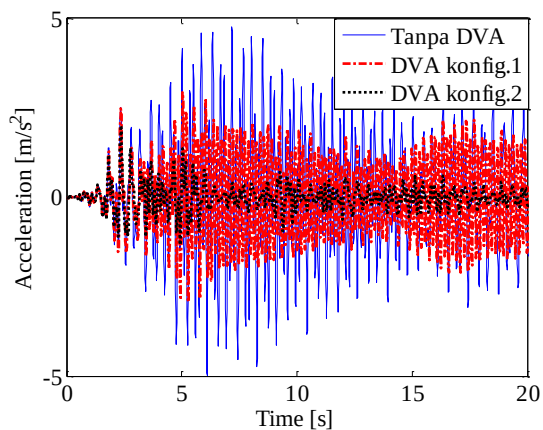
DVA	Parameter	Konfig. 1	Konfig. 2
TMD	c_d (Ns/m)	2.0	2.0
	k_d (N/m)	4.54×10^2	4.66×10^2
TLCD	H (m)	2.4×10^{-2}	2.5×10^{-2}
	B (m)	5.7×10^{-2}	5.5×10^{-2}
	ζ_a	1×10^{-1}	1×10^{-1}

Pada Gambar 3 diperlihatkan grafik fungsi respon frekuensi yang diperoleh dari hasil simulasi. Berdasarkan hasil pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa peredam dinamik konfigurasi kedua lebih baik dalam mengurangi respon struktur di dekat kedua frekuensi pribadinya dibandingkan peredam dinamik konfigurasi pertama.



Gambar 3 Perbandingan fungsi respon frekuensi

Pada Gambar 4 ditampilkan perbandingan respon getaran struktur menggunakan peredam dinamik TMD dan TLCD untuk jenis gangguan gempa El-Centro. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa peredam dinamik konfigurasi kedua memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan peredam dinamik konfigurasi pertama.



Gambar 4 Respon getaran struktur dengan gangguan El-Centro

Kesimpulan

Studi banding unjuk kerja peredam dinamik TMD dan TLCD menggunakan dua konfigurasi peredam telah dilakukan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peredam dinamik konfigurasi kedua menghasilkan penurunan respon yang lebih baik dibandingkan peredam dinamik konfigurasi pertama ditinjau dalam respon domain

frekuensi maupun respon domain waktu akibat beban gempa.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih pada Kementrian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas bantuan dana penelitian hibah bersaing dengan nomor kontrak 55/UN.16/HB/LPPM/2016.

Referensi

- [1] L. Son, M. Bur, M. Rusli, Design of Double Dynamic Vibration Absorbers for Reduction of Two DOF Vibration System, *Struct. Eng. and Mech.* 57(1), (2016) 161-178.
- [2] M. Reiterer, F. Ziegler, Combined Seismic Activation of a SDOF-Building with a Passive TLCD Attached. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada, 2004.
- [3] L. Son, M. Bur, M. Rusli, Response Reduction of Two DOF Shear Structure Using TMD and TLCD by Considering Absorber Space Limit and Fluid Motion, *App. Mech. and Mat.* 836, (2016) 251-256.
- [4] Den Hartog JP. *Mechanical Vibrations: Fourth Edition*. McGraw-Hill Book Company: New York, 1956.