

## Kaji Eksperimental Penerapan Peredam Dinamik TLCD dan TMD pada Model Struktur Geser Dua Derajat Kebebasan

Mulyadi Bur<sup>a\*</sup>, Lovely Son<sup>b</sup> dan Ricky Yusafri Govi<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang

<sup>a</sup>mulyadibur@ft.unand.ac.id, <sup>b</sup>lovelyson@ft.unand.ac.id, <sup>c</sup>rickyygovi@gmail.com

### Abstrak

Getaran yang berlebih pada struktur akibat beban dinamik seperti gempa dapat menyebabkan kerusakan dan pada skala yang lebih besar akan menimbulkan kegagalan pada struktur. Dewasa ini, isolator getaran banyak digunakan untuk mengurangi pengaruh gaya dinamik pada struktur. Kelemahan utama penggunaan isolator adalah biaya pemasangan yang cukup besar terutama pada struktur berukuran besar seperti struktur bangunan dan jembatan. Salah satu teknik sederhana yang bisa digunakan untuk mengurangi respon getaran pada struktur adalah dengan menggunakan peredam dinamik.

Kaji teoretik penerapan peredam dinamik untuk mengurangi getaran pada struktur bangunan dua lantai telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Dalam hal ini, struktur dimodelkan sebagai sebuah struktur geser dua derajat kebebasan. Pada penelitian ini dilakukan kaji eksperimental penerapan peredam dinamik ganda pada struktur dengan menggunakan *Tuned Liquid Column Damper* (TLCD) dan *Tuned Mass Damper* (TMD). Kedua peredam dinamik diletakkan pada lantai atas dari struktur. Peredam dinamik TLCD ditujukan untuk mereduksi respon struktur pada frekuensi pribadi pertama sedangkan peredam dinamik TMD digunakan untuk mengurangi respon getaran di dekat frekuensi pribadi kedua dari struktur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan peredam dinamik TLCD dan TMD cukup efektif mengurangi respon getaran struktur di dekat kedua frekuensi pribadi terendahnya. Penurunan harga puncak respon frekuensi di dekat frekuensi pribadi pertama mencapai 53%, sedangkan penurunan puncak frekuensi pribadi kedua sekitar 95% dan harga frekuensi pribadi pertamanya menjadi sedikit lebih rendah.

Kata kunci : struktur, peredam dinamik, TLCD, TMD, eksperimen

### Pendahuluan

Masalah getaran pada struktur akibat beban dinamik telah menjadi perhatian para ahli dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini disebabkan karena getaran pada struktur tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan akan tetapi dalam tingkatan yang cukup besar dapat menyebabkan kerusakan dan merobohkan struktur.

Pada struktur bangunan bertingkat, gangguan beban dinamik dapat berbentuk beban angin maupun beban gempa. Dibandingkan dengan bangunan satu lantai, pengaruh beban dinamik pada struktur bangunan bertingkat jauh lebih besar karena kekakuan struktur pada bangunan bertingkat lebih rendah dibandingkan pada struktur bangunan satu lantai.

Berbagai macam teknik telah dikembangkan untuk mengurangi respon

struktur akibat beban dinamik[1-4]. Penggunaan isolator getaran merupakan salah teknik yang sering digunakan untuk mengurangi pengaruh beban gempa pada struktur[5]. Pada metode ini, pondasi struktur dibuat lebih fleksibel dengan penambahan isolator berbahan dasar karet sehingga gaya dinamik yang ditransmisikan dari landasan dapat dikurangi. Meskipun demikian, metode ini membutuhkan biaya yang cukup besar dan tidak cocok digunakan untuk struktur yang telah dibangun.

Cara lain untuk meredam respon getaran merupakan teknik peredaman dinamik yang merupakan suatu metode untuk mengurangi respon getaran struktur melalui penambahan

sistem getaran baru pada struktur. Sistem getaran yang ditambahkan ini akan menyerap sebagian energi getaran yang diterima oleh struktur sehingga getaran pada struktur utama akan berkurang. Dewasa ini telah dikembangkan beberapa jenis peredam dinamik seperti TMD[6] dan *Tuned Liquid Damper* (TLD)[7].

Analisis dan penerapan peredam dinamik menggunakan sistem aliran fluida dalam wadah berbentuk kolom U (TLCD) pada struktur telah banyak dilakukan[8-10]. Pada penelitian ini dikembangkan peredam dinamik ganda dengan menggabungkan TMD dan TLCD pada struktur. Peredam dinamik TLCD ditujukan untuk mereduksi respon struktur pada frekuensi pribadi pertama sedangkan peredam dinamik TMD digunakan untuk mengurangi respon getaran di dekat frekuensi pribadi kedua dari struktur.

Kaji teoretik penerapan peredam dinamik ganda menggunakan TMD dan TLCD pada model struktur geser dua derajat kebebasan telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [11]. Penelitian ini dilakukan untuk melihat efektifitas dari penggunaan peredam dinamik ganda pada struktur secara experimental.

Berdasarkan hasil kaji teoretik didapatkan harga parameter peredam dinamik untuk mendapatkan hasil redaman yang optimum [11]. Hasil yang didapatkan pada kaji teoretik ini selanjutnya digunakan dalam perancangan dan pengujian peredam dinamik TMD dan TLCD secara eksperimental.

## Tinjauan Pustaka

**Sistem Getaran 1 DOF dengan TLCD.** TLCD merupakan salah satu tipe peredam getaran dinamik berbentuk kolom U yang berisikan fluida cair. Gerakan fluida pada kolom TLCD berfungsi menyerap sebagian energi getaran dari struktur sehingga getaran yang terjadi pada struktur utama akan berkurang.

Persamaan gerak sistem getaran 1 DOF dengan dengan TLCD diperlihatkan pada Gambar 1. Model sistem getaran satu derajat kebebasan ini dapat diasumsikan sebagai model sederhana dari suatu struktur bangunan. Beberapa asumsi yang digunakan

untuk menurunkan persamaan gerak dari sistem ini adalah:

- 1) Fluida yang digunakan bersifat tidak termampatkan.
- 2) Fluida yang berada di dalam TLCD tidak ada yang berkurang selama pengujian.
- 3) Ukuran lebar dari penampang vertical TLCD harus lebih kecil dari ukuran panjang TLCD bagian horizontal.

Dengan menggunakan prinsip energi dan persamaan Lagrange, maka persamaan gerak dari struktur dan fluida pada TLCD dapat dituliskan sebagai berikut

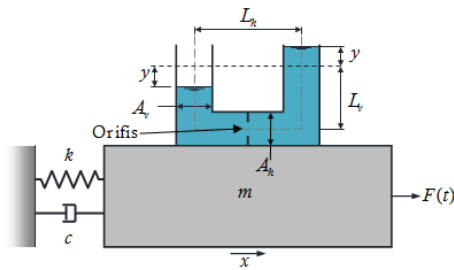
$$m\ddot{x} + \rho A_h (2vL_v + L_h) \ddot{x} + \rho A_h v L_h \ddot{y} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (1)$$

dan

$$\rho A_h v L_e \ddot{y} + \rho A_h v L_h \ddot{x} + (1/2) \rho A_h v^2 \eta |\dot{y}| \dot{y} + 2\rho A_h g v y = 0 \quad (2)$$

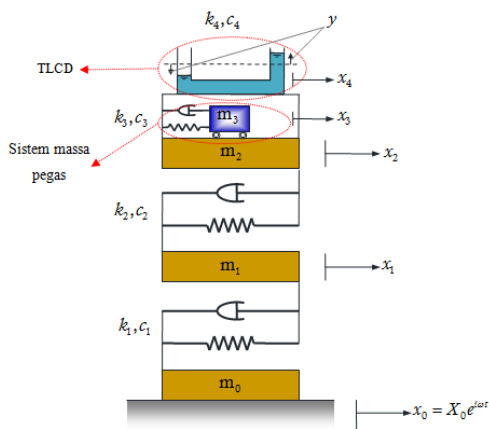
dimana  $m$ ,  $c$ ,  $k$  berturut turut adalah massa, redaman dan kekakuan struktur yang bernilai konstan. Variabel  $x$  dan  $y$  berturut-turut adalah perpindahan struktur dan fluida sedangkan  $F(t)$  adalah gaya luar yang diberikan pada struktur. Selanjutnya  $L_H$  dan  $L_V$  merupakan panjang kolom horizontal dan panjang kolom vertikal pada TLCD sedangkan  $A_H$  dan  $A_V$  menyatakan luas penampang dari kolom horizontal dan kolom vertikal,  $\rho$  dan  $g$  berturut-turut merupakan massa jenis fluida dan percepatan gravitasi. Variabel  $v = A_v/A_h$  dan  $L_e = 2L_v + vL_h$  berturut-turut merupakan perbandingan antara penampang vertikal dengan penampang horizontal dan panjang total dari fluida di dalam TLCD sedangkan  $\eta$  adalah koefisien rugi-rugi aliran. Harga frekuensi pribadi dari TLCD dapat diturunkan dari Pers.(2) yaitu

$$\omega_{TLCD} = \sqrt{2g/L_e} \quad (3)$$



Gambar 1 Struktur 1 DOF dengan TLCD  
Dari Pers.(3) terlihat bahwa harga frekuensi pribadi dari TLCD dapat ditentukan dengan mengatur panjang total dari fluida di dalam TLCD ( $L_e$ ). Berdasarkan rujukan [10] diketahui bahwa nilai perbandingan antara luas penampang vertikal dengan penampang horizontal ( $v$ ) yang paling baik adalah satu. Faktor redaman pada TLCD disebabkan oleh rugi aliran yang terjadi ketika fluida dipaksa melewati celah orifis pada kolom horizontal.

**Model Teoritik Struktur dengan Peredam Getaran Dinamik Ganda.** Pemodelan struktur bangunan dua lantai dengan peredam dinamik ganda berupa TLCD dan TMD diperlihatkan pada Gambar 2. Kedua peredam dinamik dipasang pada lantai paling atas dari struktur bangunan. Penurunan persamaan gerak struktur dengan peredam dinamik ganda ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya[11]



Gambar 2 Pemodelan struktur bangunan dengan peredam dinamik

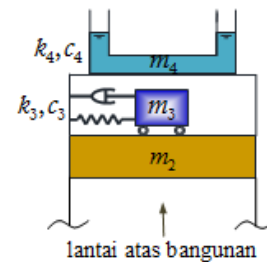
Dari Gambar 2 variabel  $m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  dan  $m_3$  berturut turut adalah massa lantai dasar, massa lantai satu, massa lantai dua dan massa TMD. Variabel  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  berturut-turut merupakan nilai kekakuan kolom pada lantai

satu dan dua serta kekakuan pegas pada TMD. Variabel  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  berturut-turut merupakan nilai redaman kolom pada lantai dasar dan lantai satu serta redaman sistem TMD. Variabel  $k_4$  dan  $c_4$  berturut-turut merupakan harga kekakuan dan redaman ekuivalen dari TLCD.

### Metodologi

Penelitian ini dilakukan atas tiga tahap. Tahap awal adalah perancangan peredam dinamik ganda. Tahap kedua adalah pembuatan peredam dinamik berdasarkan hasil rancangan. Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian efektifitas peredam dinamik ganda pada struktur uji dan evaluasi dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

**Perancangan Peredam Dinamik.** Alat uji terdiri dari model bangunan dua lantai dan dua buah peredam dinamik yang terletak pada lantai atas bangunan. Pada Gambar 3 diperlihatkan posisi peredam dinamik TMD dan peredam dinamik TLCD pada lantai atas struktur bangunan. Parameter pada kedua peredam dinamik ini telah dirancang berdasarkan hasil simulasi dari penelitian sebelumnya[11].



Gambar 3 Sketsa rancangan peredam dinamik

**Perangkat Pengujian.** Pengujian efektifitas peredam dinamik pada model bangunan dua lantai dilakukan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari peredam dinamik ganda yang telah dipasangkan pada struktur bangunan. Pengujian dilakukan dengan memberikan gaya eksitasi berupa sinyal *random* pada landasan struktur menggunakan *exciter*. Getaran pada struktur selanjutnya dicuplik menggunakan sensor *accelerometer* tipe 4507 dan kemudian diolah oleh *digital signal analyzer* (DSA) B&K. Dengan menggunakan

perangkat lunak B&K Pulse 7.0, data respon dapat ditampilkan dan disimpan pada *hard disk* komputer. Data respon frekuensi dari hasil pengujian pada struktur tanpa dan dengan peredam selanjutnya dievaluasi untuk melihat unjuk kerja peredam dinamik.

Konfigurasi peralatan yang digunakan dalam pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Peralatan yang digunakan dalam pengujian terdiri dari:

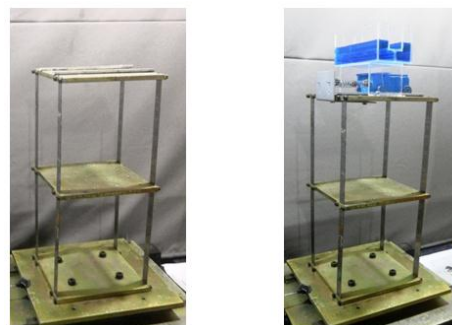
1. Model bangunan dua lantai skala laboratorium serta peredam dinamik berupa sistem massa pegas dan TLCD sebagai struktur uji.
2. *Accelerometer* tipe 4507 B&K untuk mengukur respon percepatan pada struktur.
3. *Digital signal analyzer* (DSA) B&K sebagai perangkat pencuplikan dan pengolahan sinyal.
4. *Power generator* untuk mengatur sinyal gangguan yang dihasilkan oleh *exciter*.
5. *Exciter* sebagai alat untuk memberi gaya gangguan pada landasan struktur.
6. *Vacum pump* untuk mendinginkan *exciter*.
7. *Personal computer* (PC) sebagai perangkat untuk memproses dan menampilkan data.



Gambar 4 Perangkat pengujian

Pada Gambar 5 diperlihatkan struktur bangunan dengan dan tanpa peredam dinamik ganda. Pengujian unjuk kerja peredam dinamik dilakukan dengan membandingkan respon percepatan struktur tanpa dan dengan peredam dinamik. Dalam hal ini, respon percepatan diukur dengan menggunakan dua buah sensor accelerometer yang dipasang pada tumpuan dan lantai atas bangunan

seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Respon ini selanjutnya diolah untuk mendapatkan *Frequency Response Function* (FRF) yang merupakan perbandingan antara respon frekuensi pada lantai atas struktur dan tumpuan struktur.



Gambar 5 Struktur uji tanpa dan dengan peredam dinamik

### Hasil dan Pembahasan

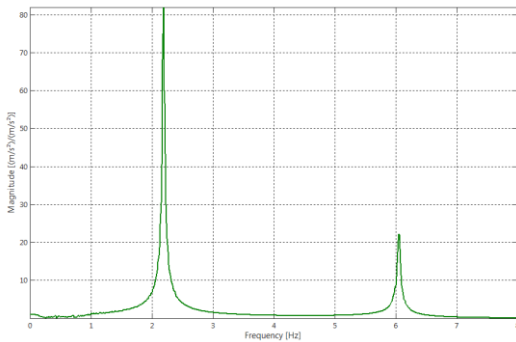
Pada Tabel 1 diperlihatkan harga parameter-parameter yang digunakan pada pengujian.

Tabel 1 Parameter-parameter pengujian

Parameter	Satuan	Nilai
Massa 1	[kg]	3.035
Massa 2	[kg]	3.01
Pegas 1	Lebar [m]	0.001
	Tinggi [m]	0.02
Pegas 2	Lebar [m]	0.001
	Tinggi [m]	0.02
Pegas 3	Lebar [m]	0.001
	Tinggi [m]	0.02
Pegas 4	Lebar [m]	0.001
	Tinggi [m]	0.02
TMD	Massa [kg]	0.56
	Kekakuan [N/m]	737.97
TLCD	Panjang total [m]	0.1

FRF dari struktur akibat gangguan random yang diberikan pada landasan struktur untuk

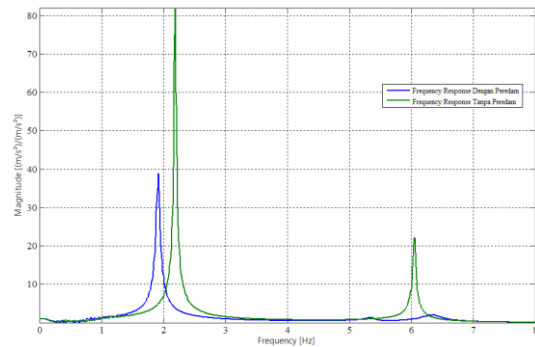
kondisi tanpa peredam dinamik diperlihatkan pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa struktur tanpa peredam dinamik memiliki respon frekuensi dengan dua buah puncak yang dominan. Puncak tersebut menunjukkan dua buah frekuensi pribadi dari struktur. Puncak pertama berhubungan dengan frekuensi pribadi pertama dari struktur yang berada di sekitar 2.2 Hz dan puncak kedua menunjukkan frekuensi pribadi kedua dari struktur yang berkisar 6.1 Hz.



Gambar 6 Grafik respon frekuensi struktur tanpa peredam dinamik ganda

Pada Gambar 7 ditampilkan perbandingan respon frekuensi struktur tanpa dan dengan peredam dinamik. Pada daerah di dekat frekuensi pribadi struktur terjadi pergeseran respon struktur. Hal ini disebabkan oleh penambahan massa dari peredam dinamik pada struktur. Massa peredam dinamik yang cukup besar menyebabkan pergeseran nilai frekuensi pribadi dari struktur. Puncak frekuensi pribadi pertama sekitar 2.2 Hz berkurang dengan penambahan peredam dinamik TLCD, sedangkan puncak frekuensi pribadi kedua sekitar 6.1 Hz mengalami penurunan yang cukup besar dengan penambahan peredam dinamik TMD.

Penurunan puncak-puncak tersebut secara kuantitatif untuk frekuensi pribadi pertama bernilai 53 % dan untuk frekuensi pribadi keduanya sebesar 95 %.



Gambar 7 Perbandingan respon frekuensi struktur tanpa dan dengan peredam dinamik

### Kesimpulan

Kaji ekperimental penggunaan peredam dinamik ganda pada struktur bangunan telah dilakukan. Peredam dinamik ganda yang digunakan terdiri atas *Tuned Mass Damper* (TMD) dan *Tuned Liquid Column Damper* (TLCD). Peredam dinamik TLCD untuk meredam getaran pada frekuensi pribadi pertama struktur. Sementara itu peredam dinamik TMD berfungsi untuk meredam getaran pada frekuensi pribadi kedua struktur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon frekuensi dari struktur dengan peredam dinamik mengalami penurunan yang cukup signifikan, 53 % pada frekuensi pribadi pertama, 95 % pada frekuensi pribadi kedua dan harga frekuensi pribadi pertama menjadi sedikit lebih rendah.

### Daftar Pustaka

- [1] Y.P. Wang and C.J. Liu, Active Control of Sliding Structures under Strong Earthquakes, First World Conference on Structural Control, Los Angeles, California, 3-5 August 1994.
- [2] O. Lavan and L. Robert, Optimal Design of Supplemental Viscous Dampers for Linear Framed Structures, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., 2004.
- [3] Pasquin, et al, Friction Dampers For Seismic Rehabilitation Of Eaton Building, Montreal, 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Juni 2002.
- [4] J. Poynor, Innovative Designs for Magneto-Rheological Dampers, Advanced Vehicle Dynamics Laboratory

- Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2001.
- [5] H. Kaplan, and A. Seireg, Optimal design of a base Isolated system for a high rise steel structure, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 2001.
- [6] I. Saidi, et al, Optimum Design for Passive Tuned Mass Dampers Using Viscoelastic Materials, Australian Earthquake Engineering Society Conference, 2007.
- [7] Y. Fujino, et al, Parametric Studies on Tuned Liquid Damper (TLD) Using Circular Containers by Free-Oscillation Experiments, Japan Society of Civil Engineering, Structural Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 381–391, 1988.
- [8] Y. Koike and T. Murata, Development of V-Shaped Hybrid Mass Damper and its Applications to High-Rise Buildings, First World Conference on Structural, 3-5 August 1994.
- [9] A. Farshidianfar and P. Oliazadeh, Closed Form Optimal Solution of A Tuned Liquid Column Damper Responding to Earthquake, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009.
- [10] J.C. Wu, C.H. Chang and Y. Lin, Optimal Designs for Non-Uniform Tuned Liquid Column Dampers in Horizontal Motion, Department of Civil Engineering, Tamkang University, Taipei, 2009.
- [11] L. Son, M. Bur and M. Rusli, Response Reduction of Two DOF Shear Structure Using TMD and TLCD by Considering Absorber Space Limit and Fluid Motion, The 2<sup>nd</sup> International Conference on Mechanical Engineering (ICOME), Bali, 2015.