

## ANALISIS PENAMBAHAN *TUNED MASS DAMPER* PADA RESPON DINAMIS STRUKTUR TERHADAP MESIN *SHAKER TABLE 3 AXIS*

### Ahmad Kiflaini Haqqul Yaqin

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [ahmadkiflaini.21020@mhs.unesa.ac.id](mailto:ahmadkiflaini.21020@mhs.unesa.ac.id)

### Arya Mahendra Sakti

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [aryamahendra@unesa.ac.id](mailto:aryamahendra@unesa.ac.id)

### Ferly Isnomo Abdi

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [ferlyabdi@unesa.ac.id](mailto:ferlyabdi@unesa.ac.id)

### Andita Nataria Fitri Ganda

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [anditaganda@unesa.ac.id](mailto:anditaganda@unesa.ac.id)

### Abstrak

Getaran pada struktur bangunan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti gempa bumi, angin, atau aktivitas mesin, yang dapat menimbulkan masalah hingga kerusakan. Salah satu metode efektif untuk meredam getaran adalah penggunaan *Tuned Mass Damper* (TMD), yaitu perangkat yang terdiri dari massa, pegas, dan peredam yang dipasang pada struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan TMD terhadap respon dinamis struktur dengan variasi frekuensi eksitasi menggunakan mesin *Shaker Table 3 Axis*. Pengujian dilakukan pada frekuensi 3 Hz dan 5 Hz dengan mengukur respon percepatan struktur pada *Axis X*, *Y*, dan *Z* menggunakan sensor *accelerometer* MPU 6050 yang dihubungkan ke *software* PLX-DAQ. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan TMD mampu mereduksi sebagian besar nilai percepatan *Root Mean Square* (RMS) pada setiap *Axis*. Reduksi tertinggi pada hasil eksperimen terjadi pada *Axis Y* frekuensi 5 Hz, dari 0,268 m/s<sup>2</sup> menjadi 0,183 m/s<sup>2</sup>, atau sebesar 31,72%.

**Kata Kunci:** *tuned mass damper, shaker table 3-axis, respon dinamis, frekuensi eksitasi.*

### Abstract

*Vibrations in building structures can be caused by various factors such as earthquakes, wind, or machine activity, which can cause problems and even damage. One effective method to dampen vibrations is the use of Tuned Mass Damper (TMD), which is a device consisting of mass, springs, and dampers installed on the structure. This study aims to analyze the effect of adding TMD on the dynamic response of the structure with variations in excitation frequency using a 3-Axis Shaker Table machine. Tests were carried out at frequencies of 3 Hz and 5 Hz, by measuring the acceleration response of the structure on the X, Y, and Z axes using an MPU 6050 accelerometer sensor connected to PLX-DAQ software. The test results show that the addition of TMD is able to reduce most of the Root Mean Square (RMS) acceleration values on each axis. The highest reduction in the experimental results occurred on the Y axis at a frequency of 5 Hz, from 0,268 m/s<sup>2</sup> to 0,183 m/s<sup>2</sup>, or 31,72%.*

**Keywords:** *tuned mass damper, 3-axis shaker table, dynamic response, simulation, excitation frequency.*

## PENDAHULUAN

Getaran terbagi menjadi dua jenis, yaitu getaran mekanik dan getaran elektromagnetik. Getaran mekanik merupakan gerakan osilasi pada sistem mekanis di sekitar posisi keseimbangan. Getaran ini muncul akibat adanya gaya gangguan pada media penghantar. Selain itu, getaran juga dibedakan menjadi getaran bebas dan getaran paksa. Getaran paksa terjadi saat ada gaya tambahan yang bekerja secara terus-menerus dan periodik dalam fungsi waktu pada sistem. Sedangkan pada getaran bebas, getaran berlangsung karena adanya gaya awal yang menyebabkan

simpangan awal pada sistem (Fauzan dkk., 2016). Respon struktur adalah pengukuran perpindahan, kecepatan, dan percepatan akibat beban dinamis seperti ledakan, angin, getaran mesin, dan gempa yang berubah waktu (Suryanita, 2015).

Beberapa upaya pengurangan beban getaran pada struktur meliputi penggunaan *dampers bearing* untuk meredam beban vertikal dan horizontal (C. Liu dkk., 2018) serta *Pipe Fuse Damper* (PFD) yang mampu menyerap energi gempa secara signifikan sebagai peredam pasif (Aghlara dkk., 2018). Meski banyak studi sudah ada, masih diperlukan evaluasi lebih lanjut terutama pada struktur

eksisting, karena penerapan lebih umum pada bangunan baru. Penggunaan *Tuned Mass Damper* (TMD) menjadi solusi efisien dan ekonomis untuk melindungi struktur lama maupun baru (Shrinivas Hebbar dkk., 2019)

*Tuned Mass Damper* (TMD) adalah sistem yang terdiri dari massa, pegas, dan peredam yang dipasang pada struktur untuk meredam getaran. Dalam beberapa kasus, getaran dapat diminimalkan dengan menggunakan *dynamic vibration absorber*, yang juga dikenal sebagai *Tuned Mass Damper*. TMD dirancang untuk memisahkan frekuensi alami sistem dari frekuensi gaya eksternal. Awalnya, TMD banyak diterapkan pada gedung bertingkat guna mengurangi dampak getaran akibat gempa, seperti yang dijelaskan dalam penelitian (Saeed dkk., 2023)

TMD mampu mengubah sifat dinamis dari struktur utama dan mengalihkan gaya gangguan yang diterima struktur utama ke TMD (Chang dkk., 2018). Sistem kontrol pasif TMD menggunakan energi potensial yang dihasilkan dari respons struktur untuk menciptakan gaya kontrol (Wong Foek Tjong, 2015). Banyak penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan *Tuned Mass Damper* untuk mengurangi getaran pada struktur. Salah satunya, studi oleh (Suryadi dkk., 2021) menguji efektivitas TMD dalam mereduksi respons getaran pada bangunan satu lantai secara eksperimental.

Berdasarkan berbagai studi sebelumnya, *Tuned Mass Damper* (TMD) terbukti efektif mengurangi respon getaran pada bangunan akibat gempa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas TMD pada model struktur sebagai sampel uji untuk memahami pengaruhnya terhadap respon dinamis struktur. Pengujian getaran dilakukan menggunakan alat *shaker table 3 axis*, dan respon getaran pada sampel diukur dengan sensor accelerometer dalam satuan  $m/s^2$ . Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan insight dalam mengoptimalkan desain TMD untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban dinamis dan menjadi referensi dalam penerapan peredam getaran pada struktur.

## METODE

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis dari struktur model struktur melalui eksperimen pengujian *shaker table 3 axis*. Oleh karena itu, dibutuhkan variabel yang digunakan sebagai titik fokus dalam penelitian eksperimen. Variabel diartikan sebagai objek yang dimiliki pada subjek. Objek penelitian dapat berupa orang, benda, transaksi, atau kejadian yang dikumpulkan dari subjek peneliti yang menggambarkan suatu kondisi atau nilai masing – masing dari subjek penelitian (Cakram, 2023).

### Jenis Variabel

#### ➤ Variabel Bebas

Variable bebas pada penelitian ini adalah memvariasikan struktur menggunakan TMD dan tanpa TMD untuk mengetahui respon dinamis pada

eksperimen dengan menggunakan frekuensi eksitasi sebesar 3 Hz dan 5 Hz

#### ➤ Variabel Terikat

Variable terikat pada penelitian ini adalah respon dinamis pada struktur yang keluar dari sensor MPU 6050.

#### ➤ Variabel Kontrol

- Posisi struktur saat berada pada dudukan *shaker table*.
- Parameter model eksperimen dan TMD sesuai dengan yang telah ditentukan.
- Menggunakan sensor accelerometer MPU 6050.
- Struktur menggunakan material pipa *mild steel*.

## Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dihitung sejak penyerahan judul sampai dengan selesainya penelitian, dan akan diadakan seminar untuk melaporkan hasil setelah penelitian selesai. Periode pelaksanaan pada penelitian ini selama enam bulan yaitu Januari 2025 – Juni 2025. Periode penelitian mungkin tidak sesuai dengan periode yang ditentukan karena periode pengumpulan data tergantung pada jumlah data dan waktu pemrosesan data.

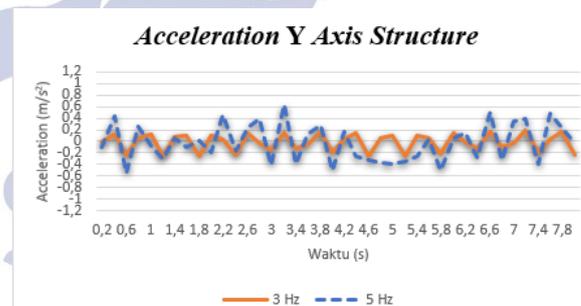
Tempat penelitian merupakan sarana untuk melakukan penelitian seperti pengumpulan data, perancangan alat, serta pengujian fungsi alat yang dirancang. Tempat yang digunakan dalam proses penelitian ini dilakukan di laboratorium Fakultas Vokasi UNESA ruang K5.01.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Grafik Respon Dinamis

#### ➤ Y Axis

#### Sebelum Penambahan TMD

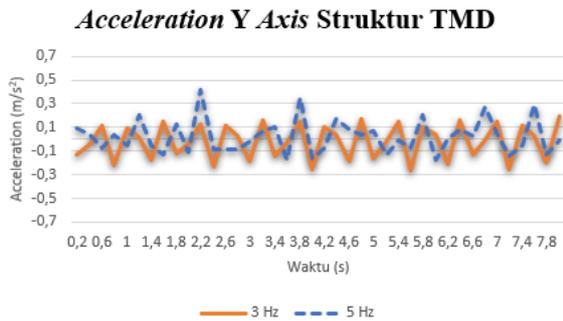


Gambar 1. Grafik Y Axis Sebelum Penambahan TMD

Sebelum penambahan TMD, garis oranye yang mewakili frekuensi 3 Hz menunjukkan respon percepatan yang relatif rendah dan stabil dengan fluktuasi kecil sepanjang waktu. Hal ini menunjukkan bahwa struktur cukup stabil pada eksitasi rendah. Sementara itu, garis biru putus-putus (frekuensi 5 Hz) memperlihatkan amplitudo percepatan yang lebih besar dan fluktuasi yang lebih tajam, menandakan adanya pengaruh eksitasi yang lebih kuat terhadap struktur. Nilai RMS percepatan yang diperoleh adalah sebesar  $0,157 m/s^2$  untuk 3 Hz dan  $0,268 m/s^2$  untuk 5 Hz, yang mengindikasikan bahwa peningkatan frekuensi eksitasi menyebabkan peningkatan respon dinamis struktur. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar

dinamika struktur, di mana respons sistem terhadap nilai percepatan akan meningkat seiring dengan frekuensi, terlebih saat mendekati frekuensi natural sistem (Pawar., 2016)

**Setelah Penambahan TMD**

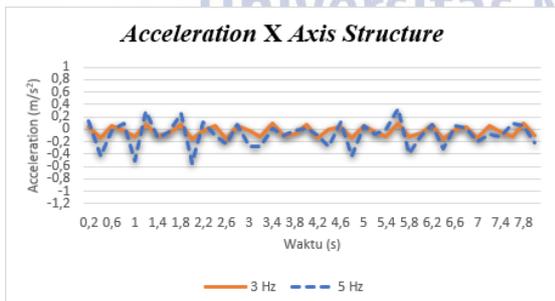


**Gambar 2.** Grafik Y Axis Sebelum Penambahan TMD

Setelah penambahan TMD, terlihat perubahan signifikan pada bentuk kurva. Garis oranye (3 Hz) menjadi lebih simetris dan amplitudo osilasinya menurun, menghasilkan respon yang lebih terkendali dan teredam. Nilai RMS-nya pun turun menjadi 0,148 m/s<sup>2</sup> dengan reduksi sebesar 5,73%, menunjukkan efektivitas TMD dalam meredam getaran meskipun frekuensinya rendah. Adapun pada garis biru putus-putus (5 Hz), efek redaman dari TMD terlihat lebih jelas. Amplitudo yang sebelumnya cukup besar mengalami penurunan yang signifikan, dan bentuk gelombangnya menjadi lebih halus dibandingkan sebelum pemasangan TMD. RMS percepatan untuk frekuensi 5 Hz menurun menjadi 0,183 m/s<sup>2</sup> dengan reduksi sebesar 31,72 %, memperlihatkan bahwa TMD bekerja efektif dalam meredam respon dinamis terutama pada frekuensi yang lebih tinggi dari *natural structure*. Fenomena ini sejalan dengan konsep bahwa TMD paling efektif jika berada atau dekat dengan resonansi struktur, karena saat itu energi getaran maksimum dapat ditransfer ke TMD dan diredam oleh elemen viskoelastik atau peredam internalnya (Brülé dkk., 2020)

➤ X Axis

**Sebelum Penambahan TMD**

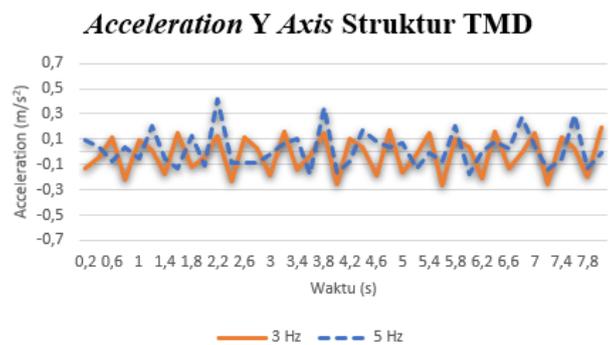


**Gambar 3.** Grafik X Axis Sebelum Penambahan TMD

Berbeda dengan Y Axis respon percepatan pada X Axis justru menunjukkan peningkatan setelah penambahan *Tuned Mass Damper* (TMD). Gambar

memperlihatkan grafik percepatan X Axis terhadap waktu pada struktur dengan eksitasi frekuensi 3 Hz dan 5 Hz, baik sebelum maupun sesudah pemasangan TMD. Sebelum penambahan TMD, respon struktur pada frekuensi 3 Hz (garis oranye) relatif kecil dan stabil. Amplitudo osilasinya berkisar antara -0,2 m/s<sup>2</sup> hingga 0,2 m/s<sup>2</sup>, menunjukkan bahwa getaran pada frekuensi rendah ini tidak terlalu signifikan terhadap X Axis. Sedangkan pada frekuensi 5 Hz (garis biru putus-putus) terlihat adanya sedikit fluktuasi lebih besar, dengan amplitudo yang mencapai ±0,4 m/s<sup>2</sup>, menandakan bahwa frekuensi ini mulai menimbulkan respon yang lebih kuat terhadap struktur.

**Setelah Penambahan TMD**

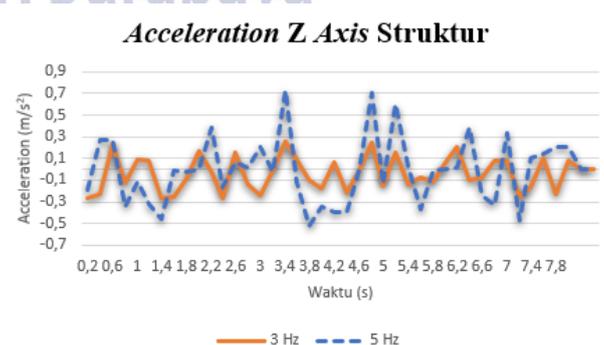


**Gambar 4.** Grafik X Axis Setelah Penambahan TMD

Namun setelah TMD dipasang, grafik menunjukkan adanya kenaikan amplitudo osilasi pada kedua frekuensi. Garis oranye (3 Hz) yang sebelumnya tenang menjadi lebih aktif dengan amplitudo yang mendekati ±0,3 m/s<sup>2</sup>, dan garis biru putus-putus (5 Hz) mencapai nilai puncak hingga ±0,6 m/s<sup>2</sup>. Hal ini tercermin dalam nilai RMS percepatan yang meningkat drastis, dari 0,017 m/s<sup>2</sup> menjadi 0,105 m/s<sup>2</sup> untuk 3 Hz, dan dari 0,028 m/s<sup>2</sup> menjadi 0,178 m/s<sup>2</sup> untuk 5 Hz dengan reduksi senilai -15,38% dan -8,54%. Menurut (Tophøj dkk., 2018), Efektivitas TMD dipengaruhi arah kerja, rasio massa, redaman, dan kekakuan. Pada arah ini, posisi dudukan dan massa shaker diduga mengurangi kinerjanya.

➤ Z Axis

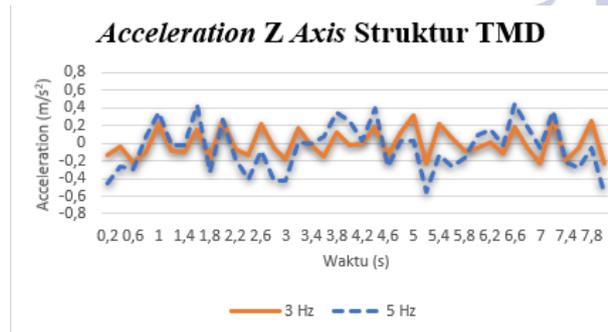
**Sebelum Penambahan TMD**



**Gambar 5.** Grafik Z Axis Sebelum Penambahan TMD

Gambar di atas menunjukkan respon percepatan struktur pada *Z Axis*, yang diuji secara vertikal, terhadap eksitasi frekuensi 3 Hz (garis oranye) dan 5 Hz (garis biru putus-putus), baik sebelum maupun sesudah pemasangan TMD. Sebelum TMD diterapkan, amplitudo percepatan pada frekuensi 3 Hz menunjukkan pola gelombang yang relatif stabil dan terkendali, dengan nilai puncak sekitar  $\pm 0,3 \text{ m/s}^2$ , sedangkan pada 5 Hz, osilasi lebih besar dan fluktuasi percepatan mencapai  $\pm 0,6$  hingga  $0,7 \text{ m/s}^2$ . Nilai RMS yang diperoleh pada kondisi ini adalah  $0,166 \text{ m/s}^2$  untuk 3 Hz dan  $0,281 \text{ m/s}^2$  untuk 5 Hz, yang menunjukkan bahwa getaran akibat eksitasi vertikal lebih terasa pada frekuensi yang lebih tinggi.

#### Setelah Penambahan TMD



**Gambar 6.** Grafik *Z Axis* Setelah Penambahan TMD

Setelah penambahan TMD, kedua garis mengalami penurunan amplitudo meskipun tidak terlalu drastis. Garis oranye (3 Hz) menjadi lebih halus dan amplitudo maksimum berkurang sedikit menjadi sekitar  $\pm 0,25 \text{ m/s}^2$ , sedangkan garis biru putus-putus (5 Hz) menunjukkan pola yang sedikit lebih teratur meskipun fluktuasi masih tampak. Nilai RMS pun mengalami penurunan menjadi  $0,161 \text{ m/s}^2$  untuk 3 Hz dan  $0,269 \text{ m/s}^2$  untuk 5 Hz dengan reduksi sebesar 2,42% dan 4,4%. Jika dibandingkan dengan respon pada *Axis X* dan *Y*, peredaman oleh TMD pada arah *Z* (vertikal) memberikan efek yang tidak sebesar pada *Y Axis*, namun tetap lebih baik dibandingkan *X Axis*. Penurunan nilai RMS pada *Z Axis* lebih moderat, menunjukkan bahwa sistem redaman masih bekerja tetapi dengan efektivitas terbatas ini disebabkan karena pada arah vertikal (*Axis Z*), gaya dominan berasal dari gravitasi dan kekakuan sistem, yang membuat redaman dari TMD tidak seefektif pada arah horisontal (*Axis Y* dan *X*). Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa TMD lebih optimal dipasang searah dengan arah dominan getaran struktur (Doroudi dkk, 2021)

#### Simpulan

Penambahan Tuned Mass Damper (TMD) terbukti efektif dalam mereduksi respon dinamis struktur. Pada *Axis Y* Hasil pengujian menunjukkan bahwa reduksi percepatan paling signifikan terjadi pada frekuensi eksitasi 5 Hz, yaitu dari  $0,268 \text{ m/s}^2$  menjadi  $0,183 \text{ m/s}^2$ , dengan nilai reduksi

sebesar 31,72%. Hal ini menunjukkan bahwa TMD bekerja paling optimal ketika frekuensi eksitasi mendekati frekuensi natural struktur, karena energi getaran maksimum dapat diserap oleh sistem TMD. Dengan demikian, penerapan TMD sangat direkomendasikan untuk meredam getaran struktural pada arah dominan getaran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Brûlé, S., Enoch, S., & Guenneau, S. (2020). Emergence of seismic metamaterials: Current state and future perspectives. *Physics Letters, Section A: General, Atomic and Solid State Physics*, 384(1), 126034. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2019.126034>
- Cakram, B. (2023). Pengaruh Metode Kerja Kelompok Terhadap Kemandirian Belajar. *Pendas : Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 08(September), 1112–1122.
- Chang, C. M., Shia, S., & Lai, Y. A. (2018). Seismic design of passive tuned mass damper parameters using active control algorithm. *Journal of Sound and Vibration*, 426, 150–165. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.04.017>
- Doroudi, R., & Hosseini Lavassani, S. H. (2021). Connection of coupled buildings: A state-of-the-art review. *Structures*, 33(December 2020), 1299–1326. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.05.017>
- Fauzan, R. A., Rohmah, R., Ristiani, D., & Prajitno, G. (2016). Getaran Teredam. *Jurnal Fisika*, 1(1), 1–10.
- Pawar, A., Vajre, S., Patil, S., Badade, A., & Sasane, K. (2016). DESIGN AND FABRICATION OF MECHANICAL VIBRATION EXCITER. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 7(6), 58–75.
- Saeed, A. S., Abdul Nasar, R., & AL-Shudeifat, M. A. (2023). A review on nonlinear energy sinks: designs, analysis and applications of impact and rotary types. In *Nonlinear Dynamics* (Vol. 111, Issue 1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-08094-y>
- Shrinivas Hebbar, A., Kulal, S. D., Pasha, T., Samal, P. K., & Gourav, K. (2019). Numerical and experimental investigation of vibration isolation of three-storied building structure using tuned mass damper. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(1), 141–149.
- Suryadi, D., Ridlo, M. R., Daratha, N., & Agustian, I. (2021). Pengaruh Tuned Mass Damper (TMD) Terhadap Respons Getaran pada Struktur Bangunan. *Semesta Teknika*, 24(2), 84–92. <https://doi.org/10.18196/st.v24i2.12727>
- Tophøj, L., Grathwol, N., & Hansen, S. O. (2018). Effective Mass of Tuned Mass Dampers. *Vibration*, 1(1), 192–206. <https://doi.org/10.3390/vibration1010014>