

Studi Eksperimental Respons Tunak Model Bangunan dengan *Tuned Mass Damper* Tipe *Eddy Current Roller Pendulum* Variasi Diameter Magnet dan Radius Lintasannya

Rizqi Azhimi^{1*}, Ardi Noerpamoengkas¹

Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya¹

*e-mail: zhimmi10@gmail.com*¹

ABSTRACT

This research combines a rolling cylinder type tuned mass damper with a damper from the eddy current effect on the vibration system of a building model. The cylinder is a magnet that moves on a certain trajectory. A copper plate is placed next to the track. The diameter of the magnet and the radius of the track are varied. The response amplitude is reviewed from the processed accelerometer data to the oscilloscope. It was found that the larger the magnet diameter and radius of the track, the smaller the amplitude. Further study can be done by considering the vibration characteristics in the frequency domain.

Kata kunci: Building model vibration, eddy current, tuned mass damper.

ABSTRAK

Penelitian ini mengombinasikan *tuned mass damper* jenis silinder gelinding dengan peredam dari efek arus eddy pada sistem getaran model bangunan. Silinder berupa magnet yang bergerak pada lintasan tertentu. Pelat tembaga diletakkan di samping lintasan tersebut. Diameter magnet dan radius lintasan divariasikan. Amplitudo respons ditinjau dari olahan data akselerometer ke *oscilloscope*. Hasilnya diperoleh bahwa diameter magnet dan radius lintasan yang semakin besar maka amplitudo yang dihasilkan semakin kecil. Studi lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperhatikan karakteristik getaran dalam domain frekuensi.

Kata kunci: Arus eddy, getaran model bangunan, *tuned mass damper*.

PENDAHULUAN

Sistem massa-pegas tambahan atau sistem TMD / *Tuned Mass Damper* menurunkan respons kondisi tunak pada sistem massa-pegas utama [1]. Sistem massa-pegas heliks sederhana dapat sebagai TMD tersebut [2], [3], [4]. Model lain menggunakan *cantilever beam* untuk kekakuannya [5], [6], [7], [8], [9]. Inersia tambahan dengan pendulum [10], [11], [12], [13]. Model lain menggunakan silinder menggeling [14], [15].

Redaman lain menggunakan arus eddy [16], [17], [18], [19], [20], [21]. Massa konduktor bergerak relatif terhadap massa magnet yang saling berdekatan. Gerakan keduanya diperlambat karena efek arus eddy. Bahan konduktor dapat dari aluminium [16], [17], [18] maupun tembaga [19], [20], [21].

Sistem TMD dapat digabungkan dengan arus eddy, atau disebut *Eddy Current TMD*. Rasio redaman yang timbul ditentukan dengan mengatur celah antara konduktor dan magnet [22], [23]. Studi mekanisme serupa diaplikasikan pada struktur penahan gelombang seismik [24], [25]. Kombinasi berbagai kemungkinan posisi magnet dan konduktor juga diteliti sebelumnya [2], [3], [4].

Penelitian sebelumnya meneliti tentang TMD-arus eddy menggunakan silinder gelinding [14] pada model bangunan (ECRTMD/*Eddy Current Roller TMD*). Magnet menjadi silinder yang bergerak, dan pelat di sisi lintasannya. Pada penelitian tersebut, jenis magnet dan jarak konduktor-magnet divariasikan. Belum ada penelitian mengenai pengaruh ukuran magnet dan lintasan gerak

silinder gelinding ini. Penelitian ini mempelajari pengaruh diameter magnet dan radius lintasannya. Adapun tinjauan analisis pada respons kondisi tunak.

TINJAUAN PUSTAKA

Rohman meneliti penggunaan DVA / *Dynamic Vibration Absorber* tunggal untuk mengurangi getaran translasi dan rotasi [5]. Rohman memberikan jarak penempatan DVA terhadap pusat massa utama. Lostari menggunakan DVA tunggal tanpa beri jarak terhadap pusat massa utama [6]. Kusumadewyanti menempatkan dua DVA terpisah di sisi kiri-kanan pusat massa utama [7]. Upaya lain menambahkan massa dan momen inersia dengan dua sisi pegas DVA berjarak terhadap pusat massa utama oleh Machfuroh [8]. Susastro menerapkan eksitasi dengan dua pengganggu massa tidak seimbang, dan DVA tunggal berjarak terhadap pusat massa utama [9]. Pemberian jarak DVA ini dan momen inersia tambahan mampu mengurangi getaran arah rotasi.

Suwarno meneliti pengaruh jarak pelat aluminium dengan massa pendulum magnet terhadap waktu tunak [16]. Jarak optimal pada 2.5 mm. Respons dengan *overshoot* terjadi pada jarak paling dekat pada jarak 2.5 mm tersebut. Penelitian serupa menggunakan massa pendulum pelat aluminium bersisir oleh Nurlaili [17]. Waktu ayun pendulum lebih lama pada kondisi pelat bersisir. Penelitian menggunakan kumparan untuk menimbulkan medan magnet oleh Zulkarnain [18]. Waktu ayun semakin singkat pada arus kumparan yang semakin besar.

Gabungan TMD dan arus eddy dilakukan dengan kombinasi penempatan magnet dan konduktor pada massa utama dan TMD. Budiarto menempatkan konduktor *grounded* dan magnet di TMD. Pambayun menempatkan konduktor di TMD dan magnet di sistem utama. Yudho menempatkan konduktor di sistem utama dan magnet di TMD [2]. Suudi menempatkan konduktor *grounded*, dan magnet di TMD dan sistem utama [3]. Athoillah menempatkan konduktor *grounded* dan magnet di sistem utama [4]. Respons tunak lebih tinggi pada kondisi tanpa TMD jenis tersebut.

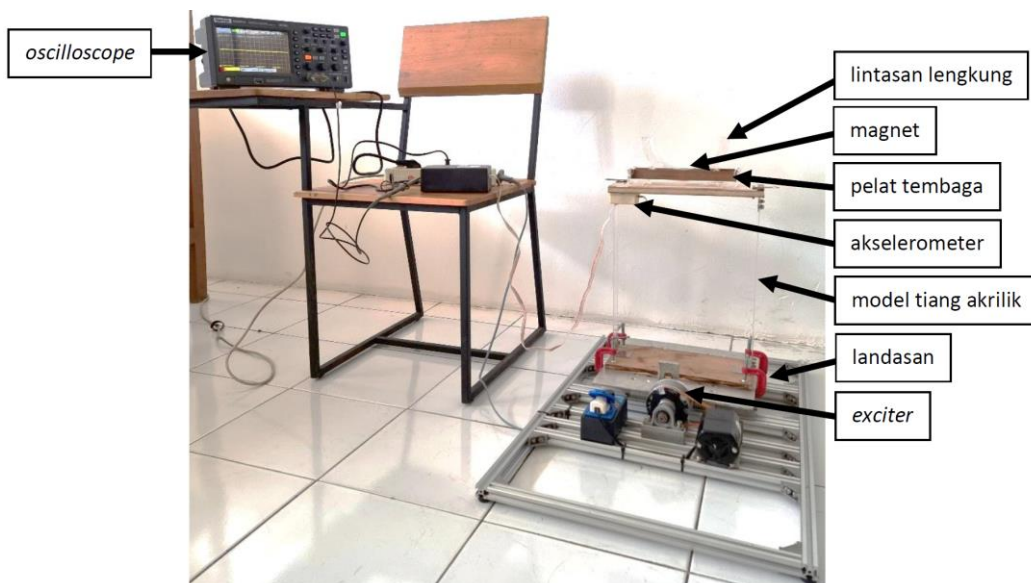
Bae meneliti reduksi getaran pada *cantilever beam* dengan *eddy current* TMD [22]. Sistem utama berupa massa pada ujung batang kantilever utama. Konduktor yang digunakan berbahan tembaga dan menempel batang kantilever utama. TMD berupa massa magnet pada ujung batang kantilever TMD. Karakteristik getaran menunjukkan penurunan amplitudo dengan pergeseran grafik domain frekuensi dibandingkan kondisi tanpa TMD.

Model TMD lain menggunakan silinder gelinding pada model bangunan. Gabungannya dengan arus eddy diteliti oleh Prakasa [14]. Prakasa mengubah jenis magnet dan celah pelat-magnet. Magnet dengan *grade* lebih tinggi dan celah lebih dekat menimbulkan respons yang lebih rendah. Belum diteliti mengenai pengaruh ukuran lintasan gerak silinder dan ukuran magnet. *Paper* ini membahas tentang pengaruh radius lintasannya dan diameter silinder magnet. Tinjauan pada respons tunak model bangunan.

METODE

Sistem utama menggunakan model bangunan sederhana. Massa ditinjau model plafon berbahan kayu. Kekakuannya tiang akrilik. Pembangkit getaran pada *base* dengan *scotch yoke*. Massa plafon dan lintasan 614.8 g. Tiang berukuran 360 x 35.6 x 2 mm dan bermassa 28.5 g. Massa TMD berupa magnet silinder N52. Diameter magnet yang divariasikan dan tersedia di pasaran sebesar 10 mm, 12 mm, dan 18 mm. Massa magnet bergerak di lintasan berradius tertentu dan berbahan akrilik.

Tinjauan getaran pada model plafon. Akselerometer ADXL335 diletakkan pada tinjauan tersebut. Sinyal diolah oleh *oscilloscope* HANTEK tipe DSO2D10 sehingga diperoleh amplitudo. Pengukuran seperti ini pernah digunakan pada penelitian sebelumnya [14]. Tampilan peralatan uji sebagai berikut.



Gambar 1. Peralatan uji.

Tabel 1. Besaran parameter.

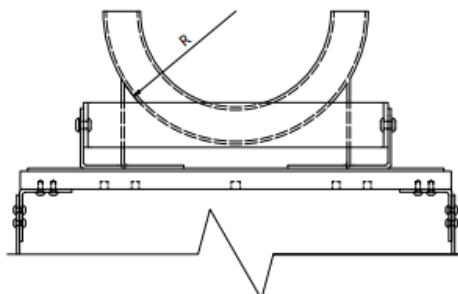
No.	Besaran	Nilai	Satuan
1	Periode eksitasi	800	ms
2	Amplitudo akselerasi eksitasi	1.7319	G
3	Massa magnet	50	gram
4	Tinggi silinder magnet	20	mm
5	Tebal tiang akrilik	2	mm
6	Panjang tiang akrilik	360	mm
7	Lebar tiang akrilik	35.6	mm
8	Massa sistem utama	0.6148	kg

Tabel 2. Variasi ukuran magnet.

No.	Diameter magnet (mm)	Radius lintasan (mm)
1	10	140
2	12	140
3	18	140

Tabel 3. Variasi ukuran lintasan.

No.	Diameter magnet (mm)	Radius lintasan (mm)
1	10	140
2	10	160
3	10	180



Gambar 2. Radius lintasan massa magnet, R , yang divariasikan.

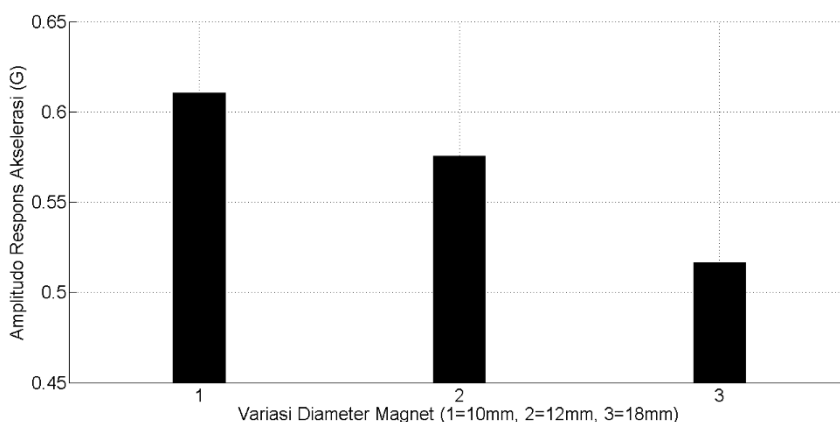
Oscilloscope mengolah data yang diterima sehingga didapat nilai amplitudo. Nilainya yang rendah menunjukkan respons yang rendah pula. Tegangan maksimal sebagai akselerasi maksimal terukur (3 G) yaitu sebesar 1.022 V. Kondisi dengan dan tanpa ECRTMD dibandingkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen memperlihatkan tren nilai amplitudo yang semakin turun seiring peningkatan nilai diameter magnet. Diameter magnet semakin besar maka semakin besar cakupan medan magnet yang ditimbulkan. Hal ini menyebabkan efek arus eddy dan redamannya juga semakin besar. Berikut tabel dan grafik data tersebut.

Tabel 4. Amplitudo akibat variasi ukuran magnet.

No.	Diameter magnet (mm)	Amplitudo (G)
1	10	0.6106
2	12	0.5753
3	18	0.5166

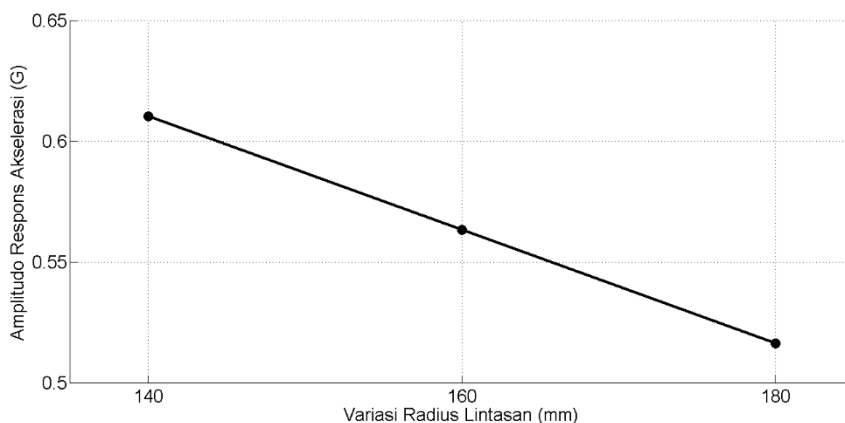


Gambar 3. Amplitudo akibat variasi ukuran magnet.

Tren hasil lain memperlihatkan penurunan nilai amplitudo seiring peningkatan nilai radius lintasan silinder magnet. Radius lintasan semakin besar menyebabkan inersia massa silinder semakin besar. Inersia ini memberi kecenderungan menahan gerak model bangunan sehingga lebih susah digerakkan. Berikut tabel dan grafik data tersebut.

Tabel 5. Amplitudo akibat variasi ukuran lintasan gerak silinder.

No.	Radius lintasan (mm)	Amplitudo (G)
1	140	0.6106
2	160	0.5636
3	180	0.5166



Gambar 4. Amplitudo akibat variasi ukuran lintasan gerak silinder.

Respons akibat penambahan ECRTMD lebih rendah dibandingkan kondisi tanpanya. Hal ini sejalan dengan penelitian ECRTMD sebelumnya [14]. Fenomena umum penerapan TMD-arus eddy juga sejalan dengan penelitian sebelumnya [22]. Tabel berikut tentang pengaruh adanya ECRTMD.

Tabel 6. Pengaruh adanya ECRTMD.

Kondisi ECRTMD	Amplitudo (G)
Tidak ada	0.7867
Ada (nilai maksimal)	0.6106

Penelitian masih belum mendalami karakteristik getaran model bangunan dan redamannya. Karakteristik ini dapat diketahui dengan meninjau domain frekuensi. Studi juga dapat dilakukan dengan mengubah posisi peletakan konduktor, dan mendapatkan respons peralihan model.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, model bangunan diberi TMD-arus eddy dengan jenis silinder magnet gelinding. Lintasan geraknya didekatkan dengan konduktor untuk menimbulkan efek arus eddy. Diameter silinder magnet dan radius lintasannya divariasikan. Respons tunak model bangunan semakin kecil jika diameter silinder magnet dan radius lintasan semakin besar. Studi lanjut dilakukan dengan meninjau domain frekuensi untuk mengetahui karakteristik getaran sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.

- [2] B. Satrio Yudho, M. Suudi, A. Noerpamoengkas, and A. Yusuf Ismail, "Studi Eksperimental Penerapan DVA dan Peredam Arus Eddy Akibat Variasi Grade Magnet dan Jarak Magnet-Pelat Konduktor (Pelat pada Massa Utama dan Magnet pada Massa DVA)," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, Nov. 2023.
- [3] M. Suudi and A. Noerpamoengkas, "Studi Eksperimental Getaran Kondisi Tunak Sistem Dengan Dua Redaman Arus Eddy (Konduktor Grounded) dan DVA Akibat Variasi Magnet dan Jarak Konduktor-Magnet," *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.
- [4] M. J. S. Athoillah, A. Noerpamoengkas, and A. Y. Ismail, "Getaran Kondisi Tunak Massa Utama Akibat Variasi Jarak Konduktor-Magnet dan Grade Magnet pada DVA-Peredam Arus Eddy (Konduktor Grounded dan Magnet pada Massa Utama)," *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.
- [5] A. Rohman and H. L. Guntur, "Pengaruh Perubahan Posisi Sumber Eksitasi Dan Massa DVA Dari Titik Berat Massa Beam Terhadap Karakteristik Getaran Translasi Dan Rotasi," in *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2016, p. A.1.
- [6] A. Lostari, H. L. Guntur, and W. Hendrowati, "Studi Perbandingan Pengaruh Penambahan SDVA Dan DDVA Tersusun Seri Terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, Surabaya: Teknik Mesin UK Petra, 2015, p. DS-23.
- [7] E. Kusumadewayanti and H. L. Guntur, "Studi Pengaruh Massa Dan Perubahan Lengan Momen Dual Dynamic Vibration Absorber (DVA)-Independent Terhadap Respon Getaran Sistem Utama 2-DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, Surabaya: Teknik Mesin UK Petra, 2015, p. DS-28.
- [8] T. Machfuroh and H. L. Guntur, "Studi Pengaruh Penambahan Dual Dynamic Vibration Absorber (DDVA)-Dependent terhadap Respon Getaran Translasi dan Rotasi," in *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, Malang: Institut Teknologi Nasional Malang, 2016, p. A.37.
- [9] Susastro and H. L. Guntur, "Pengaruh Perubahan Posisi Massa SDVA Dari Titik Berat Masa Utama Terhadap Karakteristik Getaran Translasi & Rotasi Sistem Utama 2 DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, Surabaya: Teknik Mesin UK Petra, 2015, p. DS-6.
- [10] W. Wang, Z. Yang, X. Hua, Z. Chen, X. Wang, and G. Song, "Evaluation of a pendulum pounding tuned mass damper for seismic control of structures," *Eng Struct*, vol. 228, p. 111554, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2020.111554.
- [11] Q. Wang, H. N. Li, and P. Zhang, "Vibration Control of a High-Rise Slender Structure with a Spring Pendulum Pounding Tuned Mass Damper," *Actuators 2021, Vol. 10, Page 44*, vol. 10, no. 3, p. 44, Feb. 2021, doi: 10.3390/ACT10030044.
- [12] V. Jahangiri, C. Sun, and F. Kong, "Study on a 3D pounding pendulum TMD for mitigating bi-directional vibration of offshore wind turbines," *Eng Struct*, vol. 241, p. 112383, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112383.
- [13] L. Wang, W. Shi, Y. Zhou, and Q. Zhang, "Semi-active eddy current pendulum tuned mass damper with variable frequency and damping," *Smart Struct Syst*, vol. 25, no. 1, pp. 65–80, Jan. 2020, doi: 10.12989/SSS.2020.25.1.065.
- [14] F. R. M. Prakasa, R. Azhimi, F. F. Ishari, and A. Noerpamoengkas, "Studi Eksperimental Respons Model Bangunan Kondisi Tunak Berperedam Eddy Current Roller Tuned Mass Damper dengan Variasi Grade Magnet dan Jarak Pelat Tembaga-Magnet," *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.

- [15] R. Tsuda and M. Saeki, "Efficiency of vibrational energy dissipation by tuned rolling-cylinder dampers," *J Sound Vib*, vol. 463, p. 114977, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JSV.2019.114977.
- [16] D. U. Suwarno, "Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium," *Seminar Kontribusi Fisika*, 2015.
- [17] N. Nurlaili and S. Sumardi, "Pengaruh redaman meda magnit terhadap ayunan von waltenhoven dan piringan logam berputar," *Jurnal POLIMESIN*, vol. 2, no. 1, p. 99, Sep. 2019.
- [18] Zulkarnain, Erwin, and R. Sawitri, "Studi Gejala Arus Eddy Pada Plat Alumunium Menggunakan Solenoid Silinder," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 12, no. 11, pp. 745–751, 2015.
- [19] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "Studi Eksperimental Pengaruh Posisi Menyudut Pendulum-Pelat Tembaga pada Getaran Pendulum Berperedam Arus Eddy," *Semesta Teknika*, vol. 25, no. 2, pp. 89–99, Nov. 2022, doi: 10.18196/ST.V25I2.13455.
- [20] D. P. Putra, N. A. Darmawan, and A. Noerpamoengkas, "Studi Eksperimental Pengaruh Tebal dan Jenis Magnet terhadap Respon Peralihan Pendulum Berperedam Arus Eddy," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 0, no. 0, Nov. 2022.
- [21] N. A. Darmawan, A. Noerpamoengkas, and M. Ulum, "Studi Eksperimental Settling Time Pada Getaran Pendulum Lengan Ganda Berperedam Arus Eddy Akibat Pengaruh Massa Pemberat Dan Jarak Pelat-Magnet," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, Nov. 2023.
- [22] J. S. Bae, J. S. Park, J. H. Hwang, J. H. Roh, B. Do Pyeon, and J. H. Kim, "Vibration Suppression of a Cantilever Plate Using Magnetically Multimode Tuned Mass Dampers," *Shock and Vibration*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3463528.
- [23] J. S. Bae, J. H. Hwang, J. H. Roh, J. H. Kim, M. S. Yi, and J. H. Lim, "Vibration suppression of a cantilever beam using magnetically tuned-mass-damper," *J Sound Vib*, vol. 331, no. 26, pp. 5669–5684, Dec. 2012, doi: 10.1016/J.JSV.2012.07.020.
- [24] S. Liu, Z. Lu, P. Li, S. Ding, and F. Wan, "Shaking table test and numerical simulation of eddy-current tuned mass damper for structural seismic control considering soil-structure interaction," *Eng Struct*, vol. 212, p. 110531, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110531.
- [25] Z. Lu, B. Huang, Q. Zhang, and X. Lu, "Experimental and analytical study on vibration control effects of eddy-current tuned mass dampers under seismic excitations," *J Sound Vib*, vol. 421, pp. 153–165, May 2018, doi: 10.1016/J.JSV.2017.10.035.