

Studi Eksperimental Settling Time Model Bangunan Dengan Eddy Current Roller Pendulum Tuned Mass Damper Akibat Variasi Grade Magnet

Dicky Dawlillah Yusuf¹, Ardi Noerpamoengkas²
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}
e-mail: ddicky819@gmail.com¹

ABSTRACT

This study combines eddy current dampers with tuned mass dampers (TMD) in a building model. The TMD mass is a cylindrical magnetic mass rolling on a curved track. Eddy currents are added by placing copper plates next to the track. The magnet grade is varied. A review was conducted on the settling time of the building model using a stopwatch. Higher magnet grade resulted in faster settling time. Higher magnet grade causes greater eddy current attenuation. Future studies can pay attention to the magnet, curved track, and excitation parameters on the switching response and frequency domain response.

Kata kunci: Eddy current, settling time, tuned mass damper.

ABSTRAK

Penelitian ini menggabungkan peredam arus eddy dengan *tuned mass damper*/TMD pada model bangunan. Massa TMD berupa massa magnet silinder gelinding pada lintasan lengkung. Arus eddy ditambahkan dengan menempatkan pelat tembaga di samping lintasan tersebut. *Grade* magnet divariasikan. Tinjauan dilakukan pada *settling time* model bangunan dengan menggunakan *stopwatch*. *Grade* magnet semakin tinggi menghasilkan *settling time* yang semakin cepat. *Grade* magnet yang semakin tinggi menyebabkan redaman arus eddy semakin besar. Studi berikutnya dapat memperhatikan parameter magnet, lintasan, dan eksitasi terhadap respons peralihan dan respons domain frekuensi.

Kata kunci: Arus eddy, settling time, tuned mass damper.

PENDAHULUAN

Pengurangan respons getaran dapat dilakukan dengan beberapa cara [1]. Mekanisme pemberian massa-pegas pada sistem getaran utama disebut peredam getaran dinamis atau *tuned mass damper*. Penurunan respons pada frekuensi kerja yang setara dengan frekuensi pribadi sistem. Penggunaan pegas heliks sebagai kekakuan peredam [2], [3], [4], [5], [6]. Massa-pegas diganti dengan sistem massa silinder yang menggelinding pada lintasan lengkung [7], [8], [9]. Mekanisme lain menggunakan pendulum pada sistem peredam [10], [11], [12], [13], [14]. Kekakuannya dapat menggunakan batang [15], [16], maupun pelat [17]. Mekanisme arus eddy juga dimanfaatkan sebagai peredam [18], [19], [20], [21], [22], [23]. Magnet saling berdekatan dengan logam konduktor dan bergerak antar keduanya. Efek arus eddy menimbulkan gaya yang melawan gerak magnet. Logam aluminium [18], [19], [20] dan tembaga [21], [22], [23] dapat digunakan sebagai logam konduktornya.

Gabungan antara peredam getaran dinamis dan arus eddy dapat dilakukan dengan menjadikan massa magnet sebagai massa peredam. Jarak celah antara massa magnet dan konduktor mempengaruhi rasio redaman [24], [25]. Sistem tinjauan pada penahan getaran seismik [26], [27]. Kemungkinan penempatan magnet dan konduktor pada massa utama atau peredam pada penelitian-penelitian sebelumnya [2], [3], [4], [5], [6].

Penelitian terdahulu mengenai gabungan TMD dan arus eddy menggunakan massa magnet berbentuk silinder yang digelindingkan pada lintasan lengkung di model massa bangunan [7], [9]. Sistemnya disebut *eddy current roller* TMD. Pelat tembaga ditempatkan pada sisi lintasan. Pada kedua penelitian tersebut, eksitasi diberikan pada bagian landasan model. Belum ada penelitian tentang respons peralihan pada sistem getaran dengan *eddy current roller* TMD ini. Penelitian ini meninjau seberapa cepat model bangunan diam sejak simpangan awal akibat pengaruh grade magnet.

TINJAUAN PUSTAKA

Rohman mengurangi getaran sistem utama secara rotasi dan translasi menggunakan TMD tunggal [15]. TMD tunggal ditempatkan berjarak terhadap pusat gravitasi massa tinjauan. Penelitian lain oleh Machfuroh menggunakan momen inersia dengan sisi kekakuannya berjarak terhadap pusat gravitasi massa tinjauan [16]. Pemberian jarak TMD ini dan penambahan momen inersia dapat meredam getaran rotasi massa tinjauan.

Suwarno mempelajari pengaruh dekatnya massa magnet ujung pendulum dan pelat aluminium terhadap respons getaran pendulum [18]. Penelitian menggunakan pelat aluminium sebagai massa pendulum oleh Nurlaili [19]. Pelat aluminium dibuat bersisir sehingga waktu osilasi pendulum lebih lama. Penelitian lain oleh Zulkarnain menggunakan kumparan untuk menimbulkan medan magnet [20]. Semakin besar arus kumparan semakin singkat respons ayun pendulum.

Kombinasi dapat dilakukan pada penempatan massa magnet dan pelat tembaga. Penempatan magnet pada massa TMD dan pelat tembaga *grounded* dilakukan oleh Budiarto [2]. Penempatan pelat pada massa TMD dan massa magnet pada massa tinjauan dilakukan oleh Pambayun [3]. Penempatan massa magnet pada massa TMD dan pelat pada massa tinjauan dilakukan oleh Satrio [4]. Penempatan massa magnet pada massa tinjauan dan TMD, dan pelat *grounded* dilakukan oleh Suudi [5]. Respons tertinggi terjadi pada kondisi sistem getaran tanpa TMD jenis tersebut.

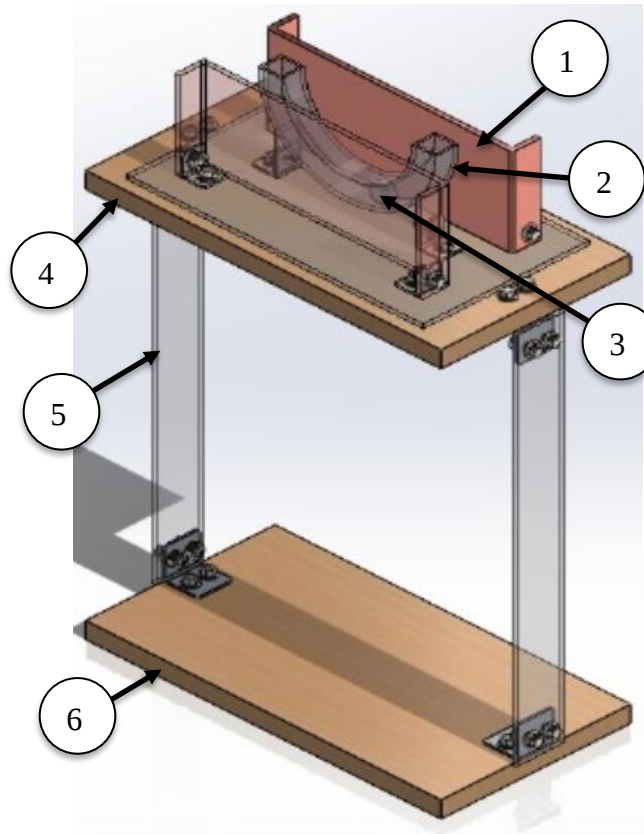
Massa tinjauan batang kantilever dengan TMD-arus eddy diteliti oleh Bae [24]. Pelat konduktor berupa tembaga yang menempel pada batang kantilever utama. Massa magnet berlaku sebagai massa peredam. Batang kantilever tambahan berlaku sebagai kekakuan TMD. Respons frekuensi menunjukkan penurunan amplitudo dibandingkan dengan kondisi tanpa TMD.

Penerapan TMD-arus eddy juga pada model bangunan. Massa TMD berupa magnet berbentuk silinder yang menggelinding pada lintasan lengkung. Sistem redaman ini disebut *eddy current roller* TMD. Prakasa meneliti respons tunak dengan variasi jarak permukaan pelat-magnet dan jenis magnet [7]. Respons tunak semakin rendah pada grade magnet semakin tinggi dan celah yang semakin dekat. Azhimi meneliti variasi radius lintasan lengkung dan diameter magnet [9]. Respons tunak semakin rendah pada diameter magnet dan radius lintasan semakin besar. Kedua penelitian tersebut meninjau respons tunak menggunakan pengganggu pada bagian landasan. Belum ada penelitian mengenai respons kondisi peralihan pada sistem getaran ini. Respons kondisi peralihan ditinjau dengan memberikan simpangan awal pada model bangunan.

METODE

Massa utama menggunakan model plafon pada model bangunan. Massa model plafon berasal dari kayu. Tiang model bangunan sebagai kekakuan sistem berbahan akrilik. Massa lintasan akrilik dan model plafon sebesar 614.8 gram. Massa pelat tembaga 661.2 gram. Pelat tembaga ditempatkan di antara sisi lintasan lengkung. Tiang akrilik berukuran 2x35.6x225 mm dan 21.7 gram. Radius lintasan lengkung sebesar 180 mm dan berbahan akrilik. Diameter magnet 10 mm. Grade magnet yang digunakan dan divariasikan antara lain N35, N45, dan N52.

Tinjauan respons pada gerak model plafon. Simpangan awal diberikan pada model plafon tersebut. Waktu gerak sejak simpangan awal hingga diam diukur menggunakan stopwatch. Model bangunan dan TMD dapat dilihat pada gambar berikut.

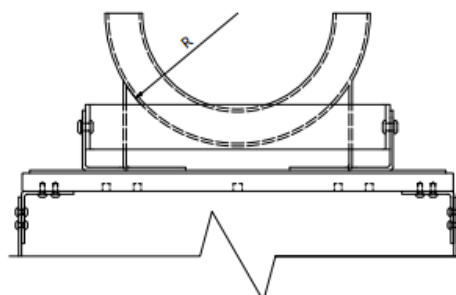


Gambar 1. Ilustrasi model bangunan.

Adapun keterangan gambar di atas sebagai berikut. Nomor 1 pelat tembaga. Nomor 2 lintasan akrilik lengkung. Nomor 3 magnet. Nomor 4 model plafon kayu. Nomor 5 model tiang akrilik. Nomor 6 landasan. Berikut parameter sistem yang ditetapkan.

Tabel 1. Parameter model bangunan dan pengganggu.

No.	Besaran	Nilai	Satuan
1	Simpangan awal	0.060	m
2	Radius lintasan	0.180	m
3	Lebar tiang	0.0356	m
4	Tebal tiang	0.002	m
5	Tinggi tiang	0.225	m
6	Massa utama	0.6148	kg
7	Massa pelat	0.6612	kg
8	Diameter magnet	0.01	m
9	Massa magnet rata-rata	0.015	kg



Gambar 2. Radius pada lintasan lengkung, R.

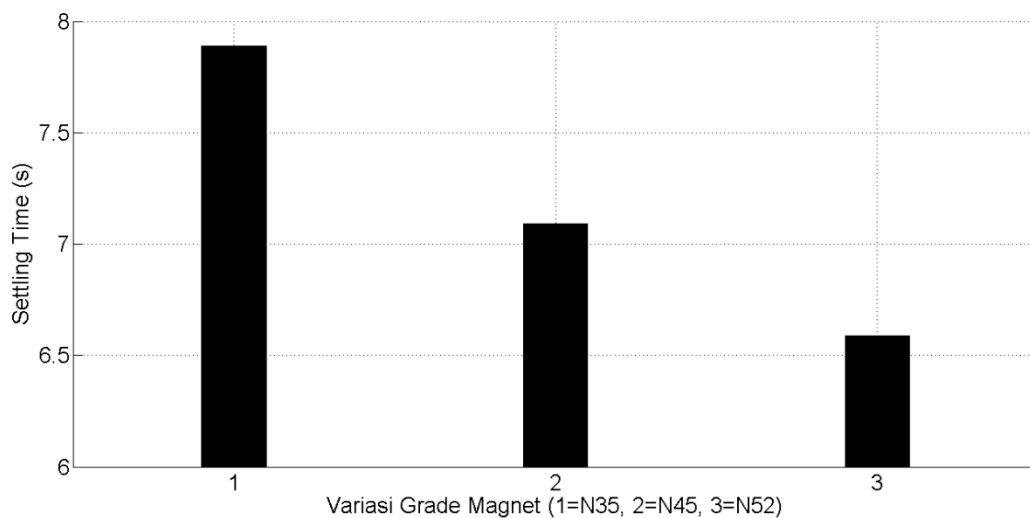
Plot grafik dilakukan pada hasil pengukuran stopwatch. Grafik batang dengan sumbu x grade magnet dan sumbu y *settling time*. Selain itu, dilakukan perbandingan *settling time* antara kondisi tanpa TMD dan waktu terlama pada kondisi dengan TMD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran *settling time* menghasilkan tren waktu yang semakin singkat pada *grade* magnet yang semakin tinggi. *Grade* magnet yang semakin tinggi memberikan medan magnet yang semakin besar pula. Medan magnet yang semakin besar menimbulkan arus eddy yang semakin besar pada jarak magnet-konduktor yang sama. Arus eddy semakin besar menghasilkan redaman akibatnya juga semakin besar. Berikut tabel dan grafik data tersebut.

Tabel 2. *Settling time* akibat variasi *grade* magnet.

No.	Grade magnet	Nilai <i>settling time</i> (s)
1	N35	7.89
2	N45	7.09
3	N52	6.59



Gambar 3. *Settling time* akibat variasi *grade* magnet.

Kondisi tanpa TMD memiliki *settling time* yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi dengan TMD. Hasil tersebut mengikuti hasil penelitian dengan peredam sebelumnya [21], [22], [23]. Berikut tabel perbandingan kondisi keduanya.

Tabel 3. *Settling time* akibat adanya TMD.

No.	Kondisi	Nilai <i>settling time</i> (s)
1	Tanpa TMD	9.25
2	Dengan TMD	8.82

Penelitian lebih jauh dapat dilakukan pada analisis respons frekuensi. Hal tersebut dapat menampilkan karakter getaran, frekuensi natural sistem. Selain itu, dapat juga meneliti parameter eksitasi, lintasan, dan magnet.

KESIMPULAN

Penelitian ini membahas tentang respons peralihan model bangunan dengan *eddy current roller* TMD. Model plafon diberi *eddy current roller* TMD dengan variasi *grade* magnet. Pengukuran pada *settling time* gerak model plafon. Hasilnya adalah semakin besar *grade* magnet maka semakin cepat *settling time*. *Grade* magnet yang tinggi menunjukkan efek redaman arus eddy yang tinggi pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.
- [2] D. P. Budiarto, M. J. S. Athoillah, and A. Noerpamoengkas, "Pengaruh Jarak Magnet-Pelat Tembaga dan Grade Magnet terhadap Respon Tunak Sistem Getaran dengan DVA Berperedam Arus Eddy (Pelat Grounded dan Magnet pada Massa DVA)," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2022, doi: 10.1016/J.JSV.2012.07.020.
- [3] B. A. Pambayun, A. Noerpamoengkas, and A. Y. Ismail, "Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Magnet-Konduktor dan Grade Magnet terhadap Respons Tunak Sistem Getaran dengan DVA-Redaman Arus Eddy (Magnet pada Massa Utama dan Konduktor pada Massa DVA)," *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 3, no. 0, pp. 5669–5684, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.JSV.2012.07.020.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] R. Azhimi, A. Noerpamoengkas, T. Mesin, T. Adhi, and T. Surabaya, "Studi Eksperimental Respons Tunak Model Bangunan dengan Tuned Mass Damper Tipe Eddy Current Roller Pendulum Variasi Diameter Magnet dan Radius Lintasannya," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, no. 1, Oct. 2024.
- [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. Firdausy Ishari, D. A. Noerpamoengkas, T. Mesin, T. Adhi, and T. Surabaya, "Respons Getaran Kondisi Tunak Model Bangunan dengan Variasi Posisi Konduktor dan Grade Magnet pada Tuned Mass Damper Tipe Eddy Current Pendulum Pounding," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, no. 1, Oct. 2024.

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] A. Noerpamoengkas, H. L. Guntur, and W. Hendrowati, "Study of Modal Frequency in New Tuned Mass Damper System with Plate Spring," *Smart Innovation in Green and Sustainable Energy*, pp. 435–442, Feb. 2025, doi: 10.1007/978-981-97-8197-3_42.
- [18] D. U. Suwarno, "Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium," *Seminar Kontribusi Fisika*, 2015.
- [19] N. Nurlaili and S. Sumardi, "Pengaruh redaman media magnet terhadap ayunan von waltenhoven dan piringan logam berputar," *Jurnal POLIMESIN*, vol. 2, no. 1, p. 99, Sep. 2019.
- [20] Zulkarnain, Erwin, and R. Sawitri, "Studi Gejala Arus Eddy Pada Plat Aluminium Menggunakan Solenoid Silinder," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 12, no. 11, pp. 745–751, 2015.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.