Studi Eksperimental Pengaruh Tebal dan Jenis Magnet terhadap Respon Peralihan Pendulum Berperedam Arus Eddy

Dony Pratama Putra[1], Nahrowi Aditya Darmawan[2], Ardi Noerpamoengkas[3]
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: donypp19@gmail.com

ABSTRACT

This study uses eddy currents to dampen the motion of the pendulum. The pendulum has two different sides. Its sides of pendulum arm are loaded and magnetic sides. The magnet thickness is varied by 5 mm, 10 mm, and 15 mm. The magnets types are neodymium 52, neodymium 35, and ferrite. The results show that the pendulum with the 15 mm-thickness magnet and neodymium 52 magnet-type has fastest settling time to the response. Those conditions create the greatest damping effect at the pendulum vibration.

Kata kunci: *Eddy current, magnet, pendulum, settling time, vibration.*

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan arus eddy untuk meredam gerak pendulum. Pendulum yang digunakan memiliki dua sisi lengan pendulum. Satu sisi lengan pendulum yang menggantung diberi massa beban pada ujungnya, dan sisi lengan yang lain diberi magnet pada ujungnya. Tebal magnet divariasikan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm. Jenis magnet divariasikan neodymium 52, neodymium 35, dan ferrit. Hasil penelitian diketahui bahwa tebal magnet paling besar dan jenis magnet neodymium 52 menyebabkan *settling time* respon pendulum paling cepat. Kedua kondisi tersebut memberikan redaman yang paling besar pada getaran pendulum.

Kata kunci: Arus eddy, getaran, magnet, pendulum, *settling time*.

PENDAHULUAN

Pendulum adalah salah satu sistem yang sering dipakai untuk menggambarkan getaran sederhana [1]. Peredam getaran dinamis dapat menggunakan pendulum [2]. Mekanisme pendulum juga dipakai sebagai peredam getaran pada model struktur bangunan [3]–[10]. Penambahan peredam getaran dinamis dapat meredam getaran pendulum [11]–[15].

Sistem pemanen energi getaran memanfaatkan mekanisme pendulum. Pendulum ditempatkan horizontal di atas ponton apung [16], dan dengan posisi pendulum vertikal [17], [18]. Ayunan pendulum dikonversi menjadi energi listrik bangkitan pada generator.

Peredam getaran menggunakan mekanisme yang berbeda-beda. Peredam *viscous* dengan satu derajat kebebasan [1]. Peredam menggunakan penambahan massa-pegas-redaman atau DVA (*dynamic vibration absorber*) [1], [19]–[21]. Penambahan DVA berupa massa-batang kantilever [22], dan bola gelinding [23].

Peredam memakai arus eddy. Peredam jenis ini dipakai pada getaran pendulum [24]–[26]. Gabungan arus eddy dan *tuned mass damper* diterapkan pada peredaman getaran struktur batang kantilever [22]. Di samping itu, arus eddy bisa diterapkan pada sistem pengereman [27], [28]. Mekanisme ini memakai magnet yang didekatkan dengan logam konduktor.

Penelitian ini memakai dua sisi lengan pendulum. Satu lengan dengan beban, sedangkan lengan lain dengan magnet permanen. Gerak ayun pendulum diredam dengan sistem arus eddy. Magnet lengan pendulum didekatkan dengan pelat tembaga. Pada penelitian sebelumnya, belum diteliti tentang pengaruh ukuran dan jenis magnet terhadap redaman arus eddy pada jenis ini. Pada penelitian ini, tebal magnet divariasi dengan diameter yang sama, dan beberapa jenis magnet, seperti jenis ferrit dan neodymium, untuk mencari seberapa cepat *settling time* pendulum.

TINJAUAN PUSTAKA

Suwarno menjelaskan getaran osilasi teredam pada pendulum magnet dan batang aluminium, di mana berguna untuk meredam gerak isolasi dari pendulum [25]. Gerakan magnet menghasilkan arus eddy, di mana efeknya meredam laju pendulum. Dalam penelitian tersebut menggunakan aplikasi *Tracker Video* pada hasil redaman arus eddy. Dari hasil penelitian Suwarno menjelaskan bahwa getaran osilasi teredam memiliki kondisi kurang teredam, teredam kritis, dan teredam lebih.

Nurlaili menggunakan pendulum dengan lempengan tembaga pada ujung pendulum. Tembaga ini dekat dengan solenoida yang membangkitkan medan magnet [26]. Arus eddy yang muncul meredam ayunan pendulum. Tegangan listrik solenoid menyebabkan redaman ayunan pendulum lebih efektif.

Farid menggunakan massa beban dan magnet pada dua lengan pendulum yang berbeda [24]. Panjang lengan divariasikan. Gerak pendulum direkam dan diolah dengan Tracker Video. Dari respon peralihan diperoleh nilai waktu *settling* dan simpangan respon. Lengan beban pendek dan lengan magnet panjang menyebabkan waktu *settling* dan simpangan respon rendah.

Rizal menggabungkan TMD (*Tuned Mass Damper*) dan arus eddy untuk mereduksi getaran struktur batang kantilever [22]. TMD memakai tambahan massa dan batang kantilever. Massa bermagnet didekatkan pelat tembaga pada batang kantilever utama. Batang kantilever TMD panjang menyebabkan amplitudo respon dan respon peralihan kecil.

Irfani menggunakan bola menggelinding sebagai sistem massa-pegas tambahan TMD [23]. Sistem utama berupa model bangunan dengan model satu lantai sebagai massa tinjauan~~,~~ dan model tiang sebagai pegasnya. Respon diukur menggunakan akselerometer ADXL335. Massa bola dan radius lintasan yang semakin besar menyebabkan amplitudo respon tunak dan nilai respon peralihan semakin kecil.

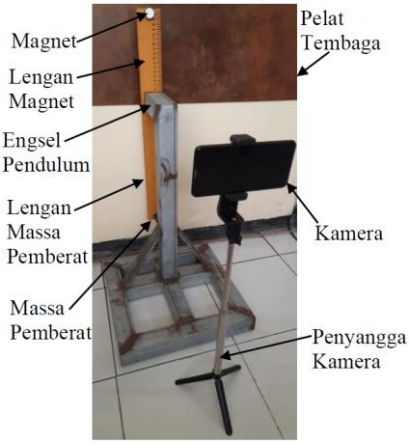
Penurunan respon arah translasi dihasilkan ketika penambahan berbagai jenis DVA. Sedangkan penurunan respon angular ditemukan pada jarak sistem DVA dari pusat massa sistem utama [19]–[21]. Kondisi tersebut menjelaskan bahwa tambahan sistem massa-pegas-redaman atau DVA menurunkan respon getaran sistem utama.

METODE

Penelitian ini memakai pendulum dengan dua sisi lengan. Engsel ditempatkan di antara dua sisi lengan tersebut. Sisi lengan menggantung atau bawah diberi beban. Sisi lengan atas diberi magnet. Magnet ini yang divariasikan tebal dan jenisnya.

Parameter sistem ditetapkan. Massa beban 20,7 gram. Diameter magnet 20 mm. Penggaris berbahan kayu dengan sisi lengan beban 0,4 m dan sisi lengan magnet 0,23 m, dengan massa 292,5 gram. Pelat tembaga mempunyai panjang 1.200 mm, lebar 460 mm, dan tebal 2 mm. Jarak antara magnet dan pelat tembaga sejauh 20 mm. Jarak bagian bawah pelat-lantai sama dengan jarak engsel pendulum-lantai.

Pendulum diberi simpangan awal 90 derajat, dan nilai kecepatan awal 0 m/s. Gerak ayun pendulum diamati pada titik ujung lengan magnet pendulum. Titik tinjauan tersebut direkam pergerakannya menggunakan kamera *handphone* Poco-F1. Video rekaman berkualitas 30 *frame per second*. Hasil rekaman video ini kemudian diolah untuk memperoleh posisi titik magnet dalam fungsi waktu. Perangkat lunak *Tracker* digunakan. Metode yang sama juga digunakan pada penelitian sebelumnya [24], [25]. Grafik gerakan pendulum arah horizontal diteliti pada fungsi waktu. Selanjutnya data *settling time* diperoleh.



Gambar 1. Peralatan uji.

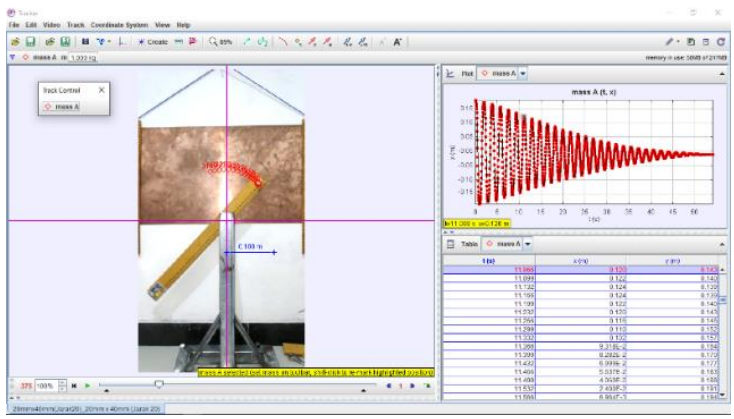
Nilai variasi tebal dan jenis magnet ada di tabel-tabel berikut.

Tabel 1. Variasi tebal magnet.

No.	Variasi	Tebal Magnet (m)	Massa Magnet (kg)
1	1	5	0,0231
2	2	10	0,0468
3	3	15	0,0673

Tabel 2. Variasi jenis magnet.

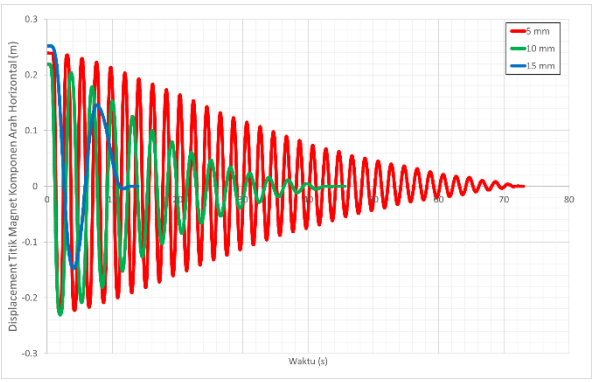
No.	Variasi	Jenis Magnet	Remanen Minimum (T)
1	1	Neodymium-52	1,42 [29]
2	2	Neodymium-35	1,17 [29]
3	3	Ferrit	0,20 [30]



Gambar 2. Pemakaian *software* Tracker.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada respon pendulum dengan variasi tebal magnet, menunjukkan bahwa semakin tebal magnet mempercepat *settling time*. Tebal magnet mempengaruhi besar nilai massa dari ujung lengan atas pendulum dan profil medan magnet pada sistem arus eddy. Kenaikan nilai massa tersebut, meningkatkan inersia pendulum. Kemudian, beban inersia besar mengurangi gerak ayun pendulum. Selain itu, magnet tebal menyebabkan medan magnet besar pada ruang sekitar ujung lengan. Hal ini menyebabkan efek arus eddy lebih besar juga.

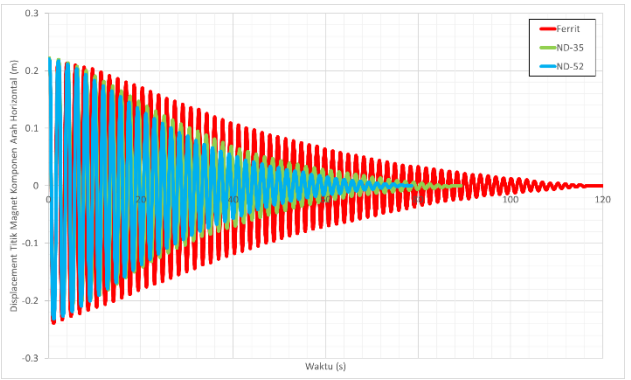


Gambar 3. Respon *displacement* komponen arah horizontal dengan variasi tebal magnet.

Tabel 3. Nilai *settling time* variasi tebal magnet.

No.	Variasi	Tebal Magnet (m)	*Settling Time* (s)
1	1	5	72.87
2	2	10	45.63
3	3	15	13.03

Pada respon pendulum dengan variasi jenis magnet, menunjukan bahwa jenis magnet neodymium 52 efektif menurunkan *settling time*. Grade magnet tinggi memiliki medan magnet yang kuat. Medan magnet kuat meningkatkan efek arus eddy. Efek meredamnya lebih efektif pada ayunan pendulum dan menyebabkan gerak ayun pendulum cepat berhenti.



Gambar 4. Respon *displacement* komponen arah horizontal variasi jenis magnet.

Tabel 4. Nilai *settling time* variasi jenis magnet.

No.	Variasi	Jenis Magnet	*Settling Time* (s)
1	1	Neodymium-52	78.67
2	2	Neodymium-35	89.30
3	3	Ferrit	119.97

Pengaruh arus eddy menurunkan waktu *settling* sesuai dengan penelitian terdahulu [25]. Penelitian berikutnya perlu meninjau karakteristik gerak pendulum akibat arus eddy ini. Karakteristik ini dapat diketahui dengan menampilkan respon domain frekuensi. Hal ini dapat menunjukkan profil amplitudo respon kondisi tunak akibat berbagai nilai frekuensi.

KESIMPULAN

Penelitian menggunakan pendulum telah dilakukan dengan lengan massa beban menggantung dan lengan magnet di sisi lain. Pengaruh kuat medan magnet diteliti menggunakan tebal dan jenis magnet terhadap respon gerak pendulum. Kemudian data nilai *settling time* diperoleh. Hasil penelitian menjelaskan bahwa pada magnet paling tebal dan magnet neodymium 52 menyebabkan *settling time* paling rendah.

DAFTAR PUSTAKA

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

[2] M. A. Abdel-Hafiz and G. A. Hassaan, "Minimax Optimization Of Dynamic Pendulum Absorbers For A Damped Primary System," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 3, no. 9, 2014.

[3] 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.

[4] H. E. Abd-El-Mottaleb and T. A. Sakr, "Multiple Connected Pendulum TMD (MCPTMD) For Vibration Control of Structures," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 10, no. 05, pp. 266–273, 2021.

[5] G. B. Colherinhas, M. A. M. Shzu, S. M. Avila, and M. V. G. D. Morais, "Wind Tower Vibration Controlled by a Pendulum TMD using Genetic Optimization: Beam Modelling," *Procedia Eng*, vol. 199, pp. 1623–1628, Jan. 2017.

[6] V. J. García, E. P. Duque, J. A. Inaudi, C. O. Márquez, J. D. Mera, and A. C. Rios, "Pendulum tuned mass damper: optimization and performance assessment in structures with elastoplastic behavior," *Heliyon*, vol. 7, no. 6, p. e07221, Jun. 2021.

[7] F. Dos, S. Oliveira, J. L. v de Brito, and S. M. Avila, "Design criteria for a pendulum absorber to control high building vibrations," *11th International Conference on Vibration Problems*, 2013.

[8] G. B. Colherinhas *et al.*, "Genetic optimization analysis of wind tower vibrations controlled by a pendulum TMD," *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*, vol. 2, no. 13, pp. 103–119, Jan. 2017.

[9] G. B. Colherinhas, M. A. M. Shzu, S. M. Avila, and M. V. G. de Morais, "A parametric study of a tower controlled by a pendulum tuned mass damper: beam modelling," *MATEC Web of Conferences*, vol. 211, p. 14006, Oct. 2018.

[10] S. Hassani and M. Aminafshar, "Optimization of pendulum tuned mass damper in tall building under horizontal earthquake excitation," *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège [En ligne]*, vol. 85, pp. 514–531, Jan. 2016.
[11] L. D. Viet, N. D. Anh, and H. Matsuhisa, "Vibration control of a pendulum structure by a dynamic vibration absorber moving in both normal and tangential directions," *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci*, vol. 225, no. 5, pp. 1087–1095, Apr. 2011.
[12] L. Duc Viet and Y. Park, "Vibration control of the spherical pendulum by dynamic vibration absorber moving in radial direction," in *Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference*, 2010, pp. 83–88.
[13] M. F. Younes, "Numerical study for dynamic vibration absorber using Coriolis force for pendulum system," *Journal of American Science*, vol. 11, no. 12, 2015.
[14] M. F. Younes, "Optimal Design of Dynamic Vibration Absorber for Rolling Systems," *18th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering*, 2018.
[15] L. D. Viet and Y. Park, "Vibration control of the axisymmetric spherical pendulum by dynamic vibration absorber moving in radial direction," *Journal of Mechanical Science and Technology 2011 25:7*, vol. 25, no. 7, pp. 1703–1709, Jul. 2011.
[16] A. Noerpamoengkas, H. L. Guntur, and S. Y. Zamrisyaf, "Modeling Flat Pendulum and Simulating Its Validation at The Pendulum-Flat Pontoon Model Sea Wave Electric Generator Application." Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jurnal IPTEK, 2013.
[17] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "PEMODELAN GERAK PENDULUM VERTIKAL PADA KONVERTER ENERGI GELOMBANG BERINERSIA TAMBAHAN SAAT RESONANSI," *Jurnal IPTEK*, vol. 21, no. 1, pp. 61–68, May 2017.
[18] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "Pemodelan Pengaruh Frekuensi dan Amplitudo Eksitasi terhadap Respon Gerak dan Daya Mekanis Pendulum Vertikal pada Konverter Energi Gelombang Laut," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, 2015, pp. 201–210.
[19] R. Ramadhan and A. Noerpamoengkas, "PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JARAK DAN MASSA DVA TERHADAP RESPON GETARAN MASSA UTAMA DENGAN TRIPLE-DVA TERSUSUN SERI," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 478–484, Oct. 2021.
[20] W. M. Fiqih and A. Noerpamoengkas, "PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JARAK DVA, KECEPATAN, DAN KEDALAMAN CELAH TERHADAP SIMPANGAN MAKSIMUM RESPON GETARAN PADA GERBONG KERETA API ARAH ROTASI DAN TRANSLASI," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 470–477, Oct. 2021.
[21] A. Setiawan and A. Noerpamoengkas, "Pemodelan dan Analisis Pengaruh Rasio Jarak dan Rasio Massa DVA Terhadap Respon Massa Utama dengan Dual-DVA Ganda," *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 2, no. 0, pp. 346–355, Mar. 2022.
[22] R. Efendi, A. Noerpamoengkas, and H. S. Maulana, "Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Penyangga Magnet pada Getaran Batang dengan Eddy Current Tuned Mass Damper," *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, Mar. 2021.
[23] N. Irfani, A. Noerpamoengkas, and I. Bagus, "Studi Eksperimental Pengaruh Radius Lintasan dan Massa Bola Terhadap Respon Getaran Model Bangunan Berperedam Bola," in *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, Mar. 2021, vol. 1, no. 1, p. 415.

[24] M. Farid and A. Noerpamoengkas, "Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Lengan Massa Pemberat Dan Panjang Lengan Magnet Terhadap Respon Pendulum Lengan Ganda Dengan Peredam Arus Eddy," in *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 2022, pp. 367–372.

[25] D. U. Suwarno, "Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium," *Seminar Kontribusi Fisika*, 2015.

[26] 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.

[27] N. P. G.V., G. S., V. K.G., and A. C. Dixit, "An Analysis of Permanent Magnet Eddy Current Braking System," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 9, no. 4, pp. 23–38, 2019.

[28] M. R. A. Putra, M. Nizam, D. D. D. P. Tjahjana, and A. R. Prabowo, "Mini Review on Eddy Current Brakes Parameter," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1096, no. 1, p. 012027, Mar. 2021.

[29] "Neodymium Magnet Grades | Stanford Magnets." https://www.stanfordmagnets.com/neodymium-magnet-grades.html (accessed Sep. 12, 2022).

[30] "Grades of Ferrite Magnets | Stanford Magnets." https://www.stanfordmagnets.com/grades-of-ferrite-magnets.html (accessed Sep. 12, 2022).