

Studi Eksperimental *Settling Time* Pada Getaran Pendulum Lengan Ganda Berperedam Arus Eddy Akibat Pengaruh Massa Pemberat Dan Jarak Pelat-Magnet

Nahrowi Aditya Darmawan¹, Ardi Noerpamoengkas², Miftahul Ulum³

Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}

Teknik Mesin, Universitas Qomaruddin³

e-mail: adityadarmawan91@gmail.com

ABSTRACT

Eddy current dampers use magnets and conductor plates brought close to each other. In this research, the pendulum has two arms, magnetic and weight arms. The mass of the weights was varied by 15 g, 20 g, and 25 g. The plate-magnet distance was varied by 15 mm, 20 mm, and 25 mm. The experimental study results show that the greater the weight mass, the longer the settling time of the pendulum due to the influence of higher inertia. Meanwhile, the closer the magnet-plate distance, the faster the settling time due to the influence of higher eddy currents. The faster the settling time, the higher the system vibration attenuation.

Kata kunci: Eddy current damper, pendulum, vibration.

ABSTRAK

Peredam arus eddy menggunakan magnet dan pelat konduktor yang saling didekatkan. Sistem getaran yang digunakan pada penelitian ini adalah pendulum dengan dua sisi lengan, sisi lengan magnet dan pemberat. Massa pemberat divariasikan 15 g, 20 g, dan 25 g. Jarak pelat-magnet divariasikan 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar massa pemberat maka semakin lama *settling time* pendulum akibat pengaruh inersia yang semakin besar. Sedangkan semakin dekat jarak pelat-magnet maka semakin cepat *settling time* akibat pengaruh arus eddy yang semakin tinggi. Semakin cepat *settling time* menunjukkan redaman sistem yang semakin tinggi.

Kata kunci: Getaran, pendulum, peredam arus eddy.

PENDAHULUAN

Ada banyak jenis peredam yang dapat digunakan untuk mengurangi getaran. Peredam *viscous* umum digunakan pada suspensi kendaraan [1]. Penambahan inersia juga dapat mengurangi getaran [2]. Peredam aktif dapat diaplikasikan dengan memanfaatkan prinsip elektromagnetik [3], [4]. Elektromagnetik ini dapat digunakan untuk mengatur kekentalan *viscous* pada redaman [5]. Sistem pegas-redaman juga dapat diterapkan dengan menempatkan magnet permanen bertumpuk dan kutub saling berlawanan [6]. Alternatif lain menggunakan mekanisme arus eddy.

Penerapan arus eddy dapat diterapkan langsung pada sistem getaran utama [7]–[9]. Kombinasi dengan TMD (*Tuned Mass Damper*) juga dapat jadi alternatif [10]–[12]. TMD model pendulum juga dapat digabung dengan mekanisme ini [13]. Mekanisme ini dibuat dengan magnet dan konduktor yang saling didekatkan. Penerapannya dapat meningkatkan kemampuan redam pada sistem getaran utama.

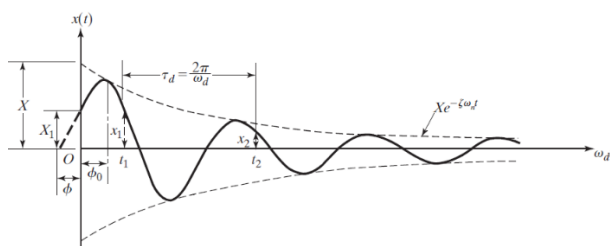
Salah satu sistem getaran utama adalah pendulum [1], [7]–[9]. Pendulum dapat sebagai penggerak di mekanisme pembangkit listrik dari energi gelombang [14]. Demikian juga sebagai tambahan sistem massa-pegas dalam mekanisme TMD [13]. Penelitian ini menggunakan sistem

getaran utama model pendulum lengan ganda. Lengan ganda ini memisahkan sisi lengan menjadi dua, sisi lengan dengan pemberat dan sisi lengan dengan magnet untuk mekanisme arus eddy.

Pada penelitian pendulum dua lengan dengan redaman arus eddy sebelumnya, telah diteliti mengenai pengaruh dimensi dan *grade* magnet pada peredam arus eddy [9]. *Grade* magnet paling tinggi dan magnet paling tebal menyebabkan waktu *settling* pendulum paling singkat. Selain itu, juga diteliti respons akibat variasi panjang lengan pendulum [7]. Semakin pendek lengan pemberat dan semakin panjang lengan magnet mekanisme arus eddy, maka semakin cepat waktu *settling* pendulum. Pada penelitian ini, diteliti parameter lain, yaitu massa pemberat dan jarak pelat-magnet, yang belum pernah diteliti sebelumnya. Penelitian ini meninjau *settling time* akibat variasi kedua parameter tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Respons sistem yang diteliti pada penelitian ini mengikuti respons sistem getaran bebas teredam kondisi *underdamped* [1]. Simpangan terjauh massa berkurang seiring berjalannya waktu. Massa akan kembali ke posisi seimbangnya. Adapun karakteristik grafik respons seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Respons sistem getaran bebas *underdamped* [1].

Di mana $x(t)$ respons *displacement* dalam fungsi waktu, X_1 simpangan awal, ϕ beda fase, ω_d frekuensi getaran teredam, dan τ_d periode getaran teredam.

Farid meneliti pengaruh penerapan peredam arus eddy pada pendulum [7]. Pendulum yang digunakan mempunyai dua sisi lengan, lengan beban dan lengan magnet. Panjang kedua sisi lengan tersebut divariasikan. Arus eddy dibangkitkan dengan mendekatkan magnet dengan pelat tembaga. Semakin pendek lengan pemberat dan semakin panjang lengan magnet, maka semakin cepat waktu *settling* pendulum. Ardi meneliti posisi pendulum dengan redaman arus eddy [8]. Bidang gerak pendulum membentuk sudut terhadap pelat konduktor. Kondisi sudut sedemikian sehingga ujung lengan magnet lebih dekat pada sudut yang lebih besar. Semakin besar sudut semakin singkat rata-rata *settling time* pendulum. Putra meneliti pengaruh parameter magnet pada pendulum [9]. Tebal dan *grade* magnet divariasikan. Mekanisme arus eddy juga diterapkan pada salah satu sisi lengan pendulum. Magnet paling tebal dan *grade* paling tinggi menyebabkan *settling time* paling singkat.

Secara teori, kerapatan arus terinduksi, J , adalah hasil kali konduktifitas elektrik material, σ , kecepatan relatif logam konduktor-magnet, v , dan kuat medan magnet, B [15].

$$J = \sigma(v \cdot B) \quad \dots(1)$$

Gaya Lorentz, F_L , adalah hasil kali kerapatan arus terinduksi, J , dengan kuat medan magnet, B .

$$F_L = J \cdot B \quad \dots(2)$$

METODE

Pendulum yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua sisi lengan. Pemisah antar keduanya adalah engsel pendulum. Lengan pemberat menggantung ke bawah. Sedangkan lengan magnet di sisi lain. Massa pemberat dan jarak pelat-magnet divariasikan.

Pendulum dibuat dari penggaris kayu. Lengan pemberat sepanjang 0.4 m. Lengan magnet sepanjang 0.23 m. Pelat berbahan tembaga, tebal 2 mm, panjang 1.2 m, dan lebar 0.46 m. Magnet dengan *grade* N52. Diameter magnet 20 mm. Tebal magnet 15 mm. Nilai tetap massa pemberat untuk variasi jarak pelat magnet 20 gram. Nilai tetap jarak pelat-magnet untuk variasi massa pemberat 20 mm.

Simpangan awal diberikan dengan sudut 90 derajat. Kecepatan awal 0 m/s. Titik tinjau pada ujung lengan magnet. Pergerakan pendulum menggunakan *handphone* merek Poco-F1 dengan 30 *frame per second*. Foto peralatan uji ada di gambar berikut.



Gambar 2. Alat pengujian respons getaran pendulum.

Nilai variasi jarak pelat-magnet dan massa pemberat pada tabel berikut.

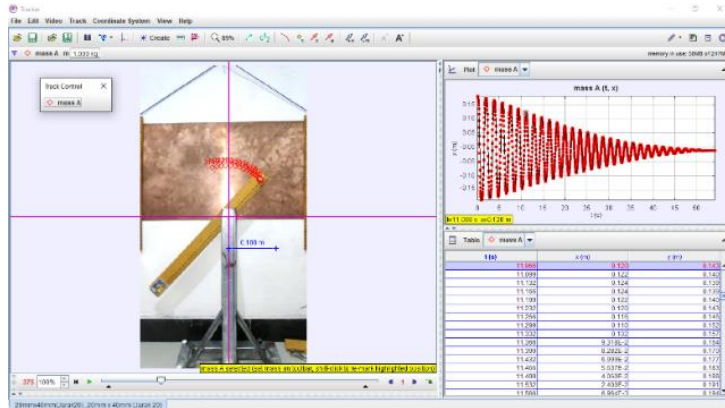
Tabel 1. Jarak pelat-magnet yang divariasikan.

No.	Jarak Pelat-Magnet (mm)	Massa Pemberat (g)
1	15	20
2	20	20
3	25	20

Tabel 2. Variasi massa pemberat.

No.	Jarak Pelat-Magnet (mm)	Massa Pemberat (g)
1	20	15
2	20	20
3	20	25

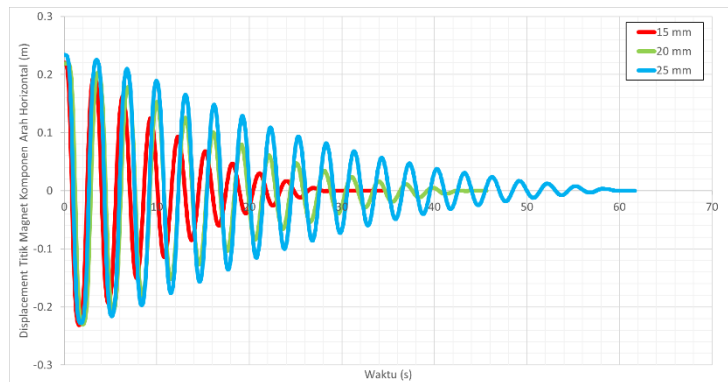
Pengolahan video rekaman dengan mengambil data posisi titik tinjauan terhadap waktu. *Software* pengolah menggunakan *Tracker*. Penggunaan metode yang sama di penelitian terdahulu [7]–[9]. Luaran grafik berupa posisi ujung lengan magnet arah horizontal domain waktu. Pengolahan dilakukan agar diperoleh *settling time*. *Jendela software* saat pengolahan data dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Penggunaan software Tracker.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen pengaruh jarak pelat-magnet dapat dilihat pada gambar 4. Semakin dekat jarak pelat-magnet maka semakin cepat *settling time* gerak pendulum. Hal ini karena semakin dekat pelat dan magnet maka kuat medan magnet dan arus eddy semakin besar. Redaman yang ditimbulkannya pun juga semakin besar, sehingga gerak pendulum semakin teredam.

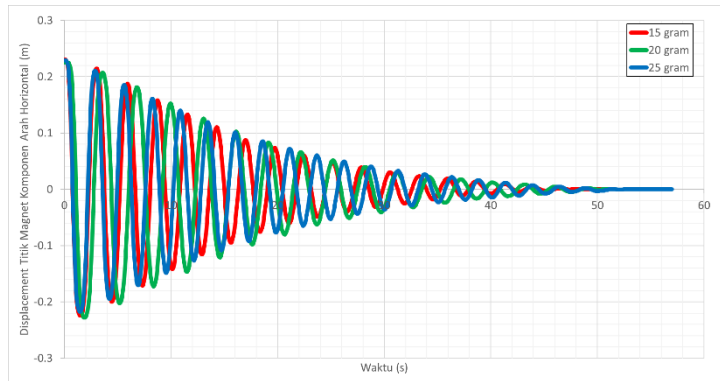


Gambar 4. *Displacement* komponen horizontal akibat variasi jarak pelat-magnet.

Tabel 3. Pengaruh variasi jarak pelat-magnet terhadap *settling time*.

No.	Jarak Pelat-Magnet (mm)	<i>Settling Time</i> (s)
1	15	28.70
2	20	43.77
3	25	57.20

Grafik respons gerak pendulum akibat variasi massa pemberat pada gambar 5. Semakin besar massa pemberat maka semakin lama *settling time* respons pendulum. Hal ini karena inersia pada pendulum semakin besar. Pendulum semakin cenderung mempertahankan pergerakannya sehingga *settling time* semakin lama.



Gambar 5. *Displacement* komponen horizontal akibat variasi massa pemberat.

Tabel 4. *Settling time* akibat variasi massa pemberat.

No.	Massa Pemberat (g)	<i>Settling Time</i> (s)
1	15	47.03
2	20	49.77
3	25	52.27

Semakin cepat *settling time* menunjukkan redaman sistem yang semakin tinggi. Penurunan respons gerak pendulum akibat peredam arus eddy ini sesuai dengan penelitian terdahulu [7]–[9]. Penelitian lebih lanjut diperlukan dengan mengamati karakteristik respons pendulum dengan redaman ini. Respons ditinjau dalam domain frekuensi. Amplitudo pendulum diketahui akibat variasi frekuensi pengganggu.

KESIMPULAN

Penelitian ini meninjau pengaruh massa pemberat dan jarak pelat-magnet terhadap respons peralihan pendulum. Semakin besar massa pemberat maka semakin lama *settling time* pendulum. Pengaruh inersia yang semakin besar menyebabkan gerak pendulum semakin cenderung dipertahankan. Sedangkan semakin dekat jarak pelat-magnet maka semakin cepat *settling time* akibat pengaruh arus eddy yang semakin tinggi. Semakin cepat *settling time* menunjukkan redaman sistem yang semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.
- [2] M. Z. Q. Chen, Y. Hu, and B. Du, “Suspension performance with one damper and one inerter,” *Proceedings of the 2012 24th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2012*, pp. 3534–3539, 2012, doi: 10.1109/CCDC.2012.6244566.
- [3] B. L. J. Gysen, J. L. G. Janssen, J. J. H. Paulides, and E. A. Lomonova, “Design aspects of an active electromagnetic suspension system for automotive applications,” *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, 2008, doi: 10.1109/08IAS.2008.181.
- [4] D. A. Patriawan, H. Irawan, A. Noerpamoengkas, B. Setyono, and A. Y. Ismail, “Definition, criteria and approaches in designing suspension system with active

- controls,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1010, no. 1, p. 012006, Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1010/1/012006.
- [5] B. Sapiński and S. Krupa, “Efficiency improvement in a vibration power generator for a linear MR damper: numerical study,” *Smart Mater Struct*, vol. 22, no. 4, p. 045011, Mar. 2013, doi: 10.1088/0964-1726/22/4/045011.
 - [6] E. Diez-Jimenez, C. Alén-Cordero, R. Alcover-Sánchez, and E. Corral-Abad, “Modelling and Test of an Integrated Magnetic Spring-Eddy Current Damper for Space Applications,” *Actuators 2021, Vol. 10, Page 8*, vol. 10, no. 1, p. 8, Jan. 2021, doi: 10.3390/ACT10010008.
 - [7] 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*, Surabaya, 2022, pp. 367–372.
 - [8] 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.
 - [9] 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.
 - [10] 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.
 - [11] 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.
 - [12] 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.
 - [13] M. I. Zarkacy, F. R. M. Prakasa, and A. Noerpamoengkas, “Studi Eksperimental Respons Tunak Getaran Model Bangunan Akibat Variasi Panjang Pendulum dan Jarak Celah Pelat Tembaga pada Eddy Current Pendulum Pounding Tuned Mass Damper,” *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 3, no. 0, Mar. 2023.
 - [14] A. Noerpamoengkas, H. L. Guntur, and Zamrisyaf, “Modeling Flat Pendulum And Simulating Its Validation At The Pendulum-Flat Pontoon Model Sea Wave Electric Generator Application,” *Jurnal IPTEK*, vol. 17, no. 1, pp. 10–22, 2013.
 - [15] Y. Y. Rong, “Simulation on Eddy Current Damper and Its Regenerative Behaviour in Shock Absorber for Electric Vehicle,” *Universiti Tunku Abdul Rahman*, 2013.