

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)

Mahathir Joko Sampurno Athoillah¹, Ardi Noerpamoengkas², Ahmad Yusuf Ismail³
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2,3}
e-mail: mahathirjoko@gmail.com¹

ABSTRACT

This research applies DVA (Dynamic Vibration Absorber) and eddy current reducer. Eddy currents arise from the approach of conducting plates and magnets. The position of the conductor plate is stationary or grounded, and the magnet is on the mass of main system. Variations in conductor plate-magnet distance and magnet grade. The main system mass acceleration response's RMS/Root Mean Square and amplitude values. The responses are compared between the system with eddy current-DVA, the system with basic DVA, and the undamped system. The test showed that the closer the conductor-magnet distance and the higher the magnetic grade, the lower the acceleration response of the main mass. The system response with eddy current damping is lower than without.

Keywords: Eddy current damper, vibration absorber, vibration response.

ABSTRAK

Penelitian ini menerapkan DVA atau *Dynamic Vibration Absorber*, dan arus eddy. Arus eddy timbul dari pendekatan pelat konduktor dan magnet. Posisi pelat konduktor diam atau *grounded*, dan magnet di massa utama. Variasi pada jarak konduktor-magnet dan *grade* pada magnet. Nilai RMS (*Root Mean Square*) dan amplitudo respons getaran pada massa sistem utama. Getaran antara sistem dengan arus eddy-DVA, sistem dengan DVA sederhana, dan sistem tanpa DVA dibandingkan. Pengujian memberikan hasil bahwa jarak konduktor pelat-magnet yang semakin jauh dan *grade* pada magnet yang semakin kecil mengakibatkan getaran massa sistem utama semakin tinggi. Getaran massa utama dengan redaman arus eddy lebih rendah jika dibandingkan dengan yang tanpa redaman arus eddy.

Kata kunci: Arus eddy, peredam getaran, respon getaran.

PENDAHULUAN

DVA adalah upaya meredam getaran sistem utama dengan menambah sistem massa-pegas [1]. Getaran massa utama yang dikurangi dalam arah translasi [1] maupun arah rotasi [2]. Reduksi getaran arah translasi juga dapat terjadi dengan dua DVA/massa-pegas terpasang seri [3], [4]. Respons dikurangi dengan dua [5], [6], [7], dan tiga [8] massa-pegas DVA. Aplikasinya dapat berupa pegas heliks sederhana [9], [10], [11], batang kantilever [4], [12], [13], bola [14], [15], [16], maupun pendulum [17], [18], [19].

Peredam model lain menggunakan arus eddy atau sering disebut *Eddy Current Damper*. Konduktor didekatkan magnet dengan kecepatan relatif antar keduanya. Konduktor dapat berupa tembaga [20], [21], [22], [23], maupun aluminium [24]. Sistemnya dapat berupa massa bantalan linier [9], [10], [11], batang kantilver [12], maupun pendulum [20], [21], [22], [23], [24]. Magnet yang bergerak terhadap konduktor diam [20], [24], atau sebaliknya [25], [26].

DVA juga bisa digabung dengan sistem bangkitan arus eddy. Sistem disebut ECTMD/*Eddy Current Tuned Mass Damper*. Model sistem dengan massa magnet dan kekakuan batang kantilever [12]. Model lain dengan magnet pada ujung pendulum [19]. Model dengan kekakuan pegas heliks sederhana, magnet di massa utama dan konduktor di DVA [9], magnet di DVA dan pelat konduktor *grounded* [10], maupun magnet di DVA dan pelat konduktor di massa utama [11].

Penelitian mengenai ECTMD terdahulu belum ada yang meneliti peredaman dengan meletakkan magnet di massa utama dan pelat konduktor berbahan tembaga diam atau *grounded*. Magnet termasuk dalam massa utama. Penambahan pelat konduktor tidak mempengaruhi massa sistem. Derajat kebebasan sebanyak dua secara keseluruhan. Redaman yang ditimbulkan akibat arus eddy menjadi redaman sistem utama.

TINJAUAN PUSTAKA

Redaman dengan arus eddy diterapkan pada gerak pendulum. Suwarno mempelajari variasi nilai jarak pelat-magnet, dan ujung pendulum dengan magnet [24]. Pendulum semakin cepat diam atau redaman semakin besar jika jarak magnet-pelat semakin dekat. Lengan ganda pendulum dengan sisi pemberat dan magnet diteliti Farid [20]. Panjang lengan-lengan tersebut divariasikan. Torsi redaman akibat arus eddy semakin rendah jika lengan massa magnet semakin pendek. Sedangkan pendulum semakin cepat diam jika lengan sisi massa pemberat lebih pendek. Variasi ukuran tebal dan *grade* magnet diteliti oleh Putra [22]. Ukuran magnet semakin tebal dan *grade* magnet yang semakin tinggi menyebabkan waktu menuju diamnya pendulum semakin cepat. Variasi posisi menyudut pelat konduktor dan bidang pergerakan pendulum diteliti oleh Ardi [21]. Sudut yang semakin kecil menyebabkan pendulum semakin lama berhenti karena jarak magnet-pelat yang semakin jauh.

Massa-pegas yang diberikan pada sistem getaran utama akan menjadi DVA [1]. Sistem DVA lebih dari satu dan ditempatkan pada titik pusat massa mampu mereduksi respons massa utama arah translasi [3], [4]. Pemberian jarak antara titik pusat massa dan sistem DVA mampu mereduksi respons arah translasi dan rotasi [2], [7], [13].

Getaran massa utama mampu diturunkan dengan menerapkan gabungan peredam DVA dan arus eddy. Penerapannya pada batang kantilever dilakukan oleh Efendi [12]. Sistem utama dan DVA berupa batang kantilever. Massa magnet pada ujung batang DVA kantilever. Pelat konduktor di batang utama kantilever. Massa dan pegas heliks juga digunakan sebagai sistem utama dan DVA. Model dengan konduktor *grounded* dan magnet pada DVA diteliti oleh Budiarto [10]. Model dengan konduktor pada DVA dan magnet pada massa utama diteliti oleh Pambayun [9]. Mekanisme *pounding pendulum* memanfaatkan arus eddy diteliti oleh Zarkacy [19].

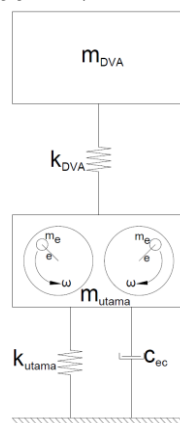
Massa dan pegas heliks diterapkan pada penelitian ini. Posisi konduktor dan magnet berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Pelat tembaga konduktor *grounded* atau dibuat diam. Magnet ditempatkan pada massa utama. Redaman akibat arus eddy berlaku sebagai redaman sistem utama. Penelitian pada pengaruh respons massa utama akibat variasi jarak konduktor-magnet dan *grade* magnet.

METODE

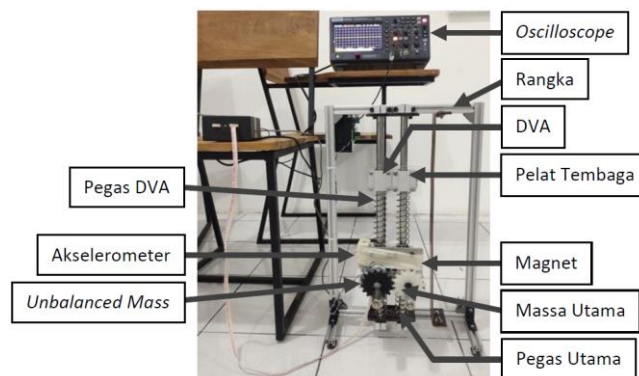
Pada penelitian ini, massa DVA dan utama menggunakan *linear bearing*. Pegas heliks tekan digunakan sebagai kekakuan pegas utama dan DVA. Arus eddy dibangkitkan dengan pelat tembaga-magnet yang saling didekatkan. Magnet ditempatkan di massa utama. Pelat *grounded* atau dibuat diam. Tebal pelat sebesar 3 mm. Massa utama tanpa magnet 870 gram, termasuk mekanisme pembangkit getaran dan *linear bearing*. Massa magnet 26 gram. Kekakuan pegas heliks yang digunakan sebesar 494.55 N/m.

Pembangkit getaran atau eksitasi menggunakan mekanisme massa tak seimbang berputar. Pemutar menggunakan motor yang dapat diatur kecepatan putarnya. Kecepatan putar ini sebagai frekuensi eksitasi. Sepasang roda gigi dengan rasio 1:1 terpasang pada massa utama. Massa tak seimbang 69 gram ditempatkan pada masing-masing roda gigi tersebut.

Pengukuran dilakukan pada respons akselerasi massa utama. Akselerometer yang digunakan ADXL335 tipe GY-61. Penelitian sebelumnya menggunakan akselerometer yang sama [9], [10], [11], [12], [16], [19]. Sinyal dari akselerometer diolah pada *oscilloscope*. *Oscilloscope* yang digunakan merek HANTEK dengan tipe DSO2D10. Berikut model sistem penelitian ini.



Gambar 1. Model yang diteliti.



Gambar 2. Alat pengujian yang dipakai.

Adapun m_{utama} adalah massa utama, k_{utama} adalah pegas utama, m_{DVA} adalah massa DVA, k_{DVA} adalah pegas DVA, c_{ec} adalah redaman arus eddy, e adalah jarak eksentrisitas, m_e adalah massa yang tak seimbang, dan ω adalah kecepatan putar eksitasi. *Grade* magnet tetap untuk variasi jarak konduktor-magnet adalah N35. Variasi *grade* N35, N45, dan N52. Jarak konduktor-magnet tetap untuk variasi *grade* magnet sebesar 15 mm. Variasi jarak 5 mm, 10 mm, dan 15 mm.

Respons akselerasi diukur dan diolah menggunakan *oscilloscope* agar didapat nilai RMS/*Root Mean Square*, dan amplitudonya. Amplitudo paling besar yang bisa diukur sebesar 3 G atau 1.69 V. Data antara kondisi dengan redaman DVA-arus eddy, DVA sederhana, dan tanpa DVA dibandingkan.

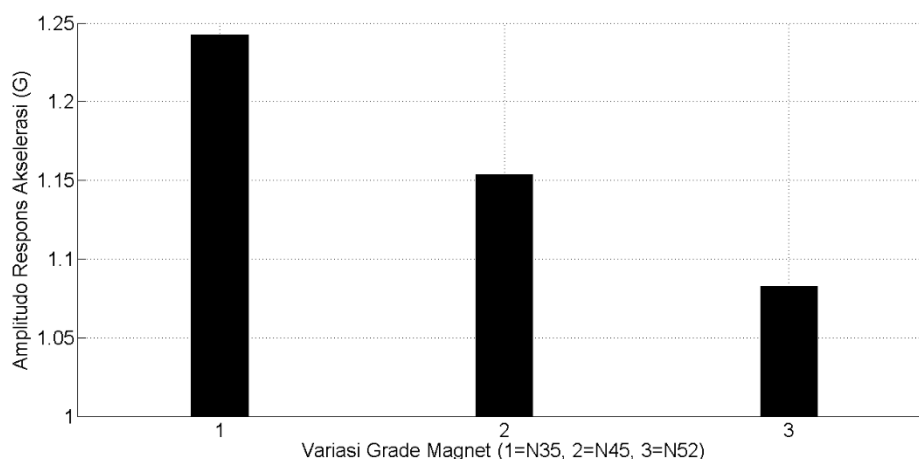
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian memberikan hasil bahwa aplikasi DVA mampu mengurangi amplitudo getaran. Nilai amplitudo dan RMS respons dengan DVA lebih kecil daripada tanpa DVA. Penurunan respons lebih rendah lagi pada sistem dengan DVA dan redaman arus eddy. Hal itu terlihat dari respons yang lebih rendah dibandingkan sistem dengan DVA tanpa redaman arus eddy. Berikut tabel hasil pengujian respons akselerasi pada sistem dengan dan tanpa DVA.

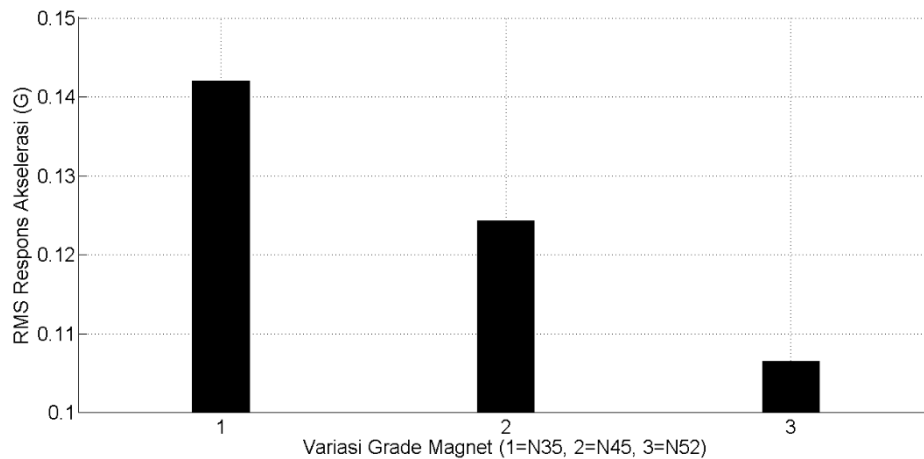
Tabel 1. Respons akselerasi kondisi tanpa redaman arus eddy.

No.	Sistem	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	Tidak ada DVA dan arus eddy	1,76	0,28
2	Ada DVA dan tidak ada arus eddy	1,65	0,23

Pengujian *grade* magnet memberikan hasil bahwa semakin rendah *grade* magnet maka semakin tinggi getaran massa sistem utama. Kuat medan magnet dan bangkitan arus eddy semakin rendah karena *grade* magnet semakin rendah. Semakin rendah arus eddy maka semakin rendah redaman akibatnya. Hasil pengujian variasi tersebut sebagai berikut.



Gambar 3. Amplitudo respons akselerasi variasi magnet.



Gambar 4. RMS respons akselerasi variasi magnet.

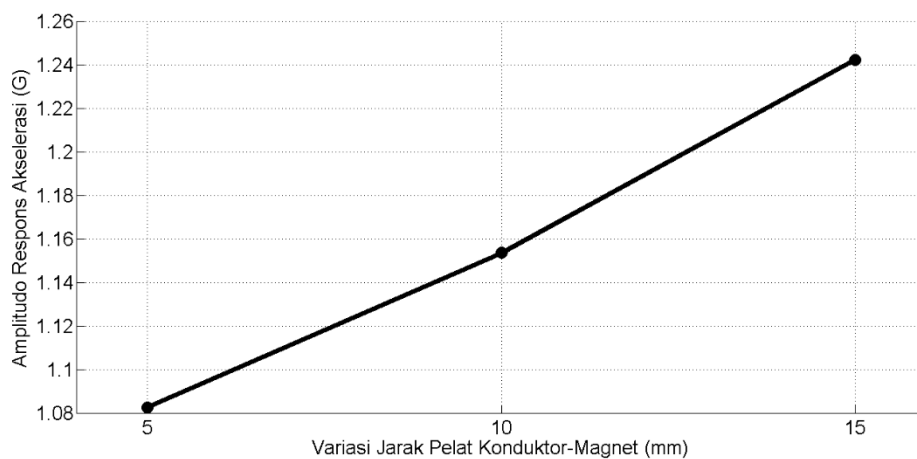
Tabel 2. Respons akselerasi variasi pada *grade* magnet.

No.	Grade	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	N35	1.2426	0.1420
2	N45	1.1538	0.1243
3	N52	1.0828	0.1065

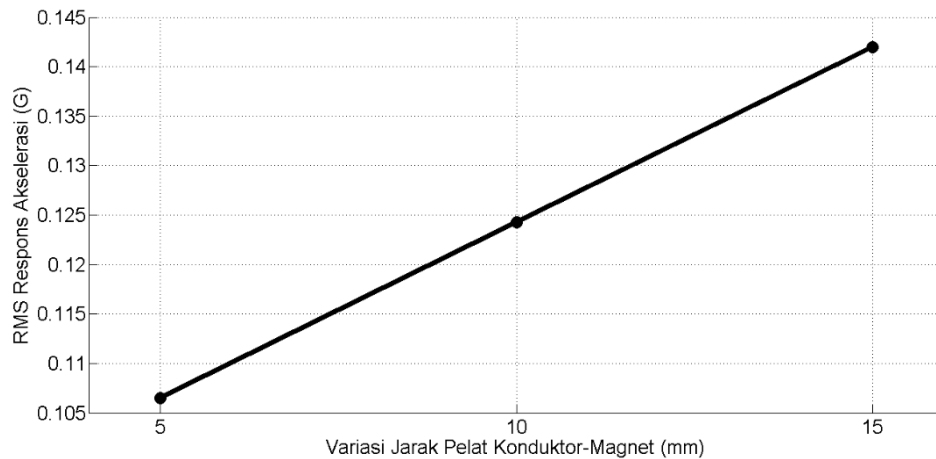
Pengujian getaran yang lain juga memberikan hasil bahwa semakin jauh jarak konduktor dan magnet maka semakin tinggi respons getaran massa utama. Jarak yang semakin jauh ini mengakibatkan kuat medan magnet dan bangkitan arus eddy semakin kecil. Redaman akibat arus eddy ini pun juga semakin rendah. Tabel hasil pengujian tersebut sebagai berikut.

Tabel 3. Respons akselerasi variasi pada jarak konduktor-magnet.

No.	Jarak konduktor-magnet	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	5 mm	1.0828	0.1065
2	10 mm	1.1538	0.1243
3	15 mm	1.2426	0.1420



Gambar 5. Amplitudo respons akselerasi dengan variasi jarak konduktor-magnet.



Gambar 6. RMS respons akselerasi dengan variasi jarak konduktor-magnet.

Pemberian sistem DVA pada sistem utama dapat mengurangi respons getaran. Hal ini sejalan fenomena fisik umum yang terjadi pada penelitian DVA terdahulu [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Tambahan redaman arus eddy pada sistem dengan DVA memberikan respons yang lebih rendah. Hal ini sesuai dengan fenomena fisik pada penelitian sebelumnya [9], [10], [11], [12]. Riset lebih lanjut mengenai respons domain frekuensi agar diperoleh karakteristik getarannya.

KESIMPULAN

DVA mampu mengurangi getaran sistem utama. Pemberian redaman arus eddy pada sistem dengan DVA mampu memberi respons yang lebih rendah dibanding tanpa arus eddy. *Grade* magnet yang semakin tinggi dan pelat-magnet yang semakin dekat memberikan getaran massa utama yang semakin rendah. Riset lebih lanjut mengenai amplitudo dalam domain frekuensi untuk karakteristik getarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.
- [2] 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.
- [3] A. Lostari, "Simulasi Peredam Getaran TDVA dan DDVA Tersusun Seri terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, vol. 2, no. 01, pp. 2017–2026, Jan. 2018.
- [4] 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.
- [5] Susastro and N. I. Riani, "Optimizing vibration reduction in 2DOF system with change position of independent translational D-DVA," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, no. 8, pp. 882–892, 2018.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] M. Pirner, “Actual behaviour of a ball vibration absorber,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 90, no. 8, pp. 987–1005, Aug. 2002, doi: 10.1016/S0167-6105(02)00215-5.
- [15] E. Matta, “Ball vibration absorbers with radially-increasing rolling friction,” *Mech Syst Signal Process*, vol. 132, pp. 353–379, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.YMSSP.2019.06.033.
- [16] 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, p. 415.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [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] D. U. Suwarno, “Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium,” *Seminar Kontribusi Fisika*, 2015.
- [25] 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.
- [26] 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.