Studi Eksperimental Getaran Kondisi Tunak Sistem Dengan Dua Redaman Arus Eddy (Konduktor *Grounded*) dan DVA Akibat Variasi Magnet dan Jarak Konduktor-Magnet

Muhammad Suudi[1], Ardi Noerpamoengkas[2]
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: msuudi268@gmail.com[1]

ABSTRACT

This research uses ECTMD (Eddy Current Tuned Mass Damper), which combines DVA (Dynamic Vibration Damper) and eddy currents. Eddy currents are generated with copper conductor plates and magnets. The magnet is located on the main mass and DVA while the plate is grounded. Magnet grade and magnet-plate distance are varied. The experiment was carried out by measuring the mass acceleration response of the main system with an accelerometer and processing the data with an oscilloscope to obtain the response amplitude and the RMS/Root Mean Square. Experiments show that adding simple DVA can reduce the acceleration response of the main mass. The use of ECTMD can produce a lower response compared to DVA alone. The greater the distance between the magnet plates and the higher the grade of the magnet, the lower the mass vibration of the main system.

Keywords: *Acceleration response, dynamic vibration absorber, eddy current damping.*

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan ECTMD (*Eddy Current Tuned Mass Damper*) yang menggabungkan DVA (*Dynamic Vibration Damper*) atau peredam getaran dinamis dan arus eddy. Arus eddy dibangkitkan dengan pelat konduktor tembaga dan magnet. Letak magnet di massa utama dan DVA, sedangkan pelat *grounded*. *Grade* magnet dan jarak pelat-magnet divariasikan. Eksperimen dilakukan dengan mengukur respons akselerasi massa sistem utama dengan akselerometer dan mengolah datanya dengan *oscilloscope* sehingga diperoleh amplitudo respons dan juga RMS/*Root Mean Square*. Eksperimen menunjukkan hasil bahwa penambahan DVA sederhana mampu mengurangi respons akselerasi massa utama. Penggunaan ECTMD mampu membuat respons lebih rendah dibandingkan dengan DVA saja. Jarak pelat-magnet yang semakin jauh dan magnet yang semakin tinggi gradenya menyebabkan getaran massa sistem utama semakin rendah.

Kata kunci: Peredam getaran dinamis, redaman arus eddy, respons akselerasi.

PENDAHULUAN

DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) atau peredam getaran dinamis adalah pengurangan getaran sistem dengan menambahkan massa-pegas [1]. Getaran translasi [2], dan rotasi [3] mampu dikurangi dengan mekanisme tersebut. Pengurangan getaran translasi dengan massa-pegas DVA terpasang sejumlah dua secara seri [4], [5]. DVA untuk pengurangan getaran translasi-rotasi dengan satu [6], dua [7], [8], [9], dan tiga [10] DVA seri. DVA diterapkan dalam bentuk sistem batang kantilever [3], [5], pendulum [11], [12], [13], pegas heliks [14], [15], [16], maupun bola [17], [18], [19].

Eddy current damper atau ECD menggunakan arus eddy sebagai mekanisme redaman. Magnet dan konduktor ditempatkan berdekatan dan bergerak relatif satu terhadap yang lain. Konduktor berbahan aluminium [20], atau tembaga [21], [22], [23], [24]. Riset terkait terdahulu menggunakan pendulum sebagai sistem bergerak [20], [21], [22], [23], [24]. Konduktor dapat bergerak relatif terhadap magnet yang diam [25], [26], maupun sebaliknya [20].

Eddy current tuned mass damper atau ECTMD menggabungkan redaman arus eddy dan dinamis. Model ECTMD menggunakan batang kantilever dengan massa ujung magnet [27]. Model lain menggunakan pendulum DVA dengan ketukan [13]. Pegas heliks sederhana digunakan sebagai kekakuan untuk model lain, dengan beberapa macam posisi magnet dan konduktor, seperti posisi konduktor di massa DVA dan magnet di massa utama [14], konduktor *grounded* dan magnet di massa DVA [15], dan konduktor di massa utama dan magnet di massa DVA [16].

Riset tentang ECTMD yang sudah ada belum meneliti redaman dengan posisi konduktor *grounded*, dan magnet pada massa utama dan massa DVA. Magnet menjadi bagian dari massa utama dan massa DVA.

ISSN 2775-5630

Pelat konduktor tidak termasuk kedua massa tersebut. ECD menjadi redaman utama dan redaman DVA terhadap *ground* atau landasan.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem massa-pegas yang diberikan untuk meredam getaran sistem utama adalah DVA [1]. Satu sistem DVA dapat mengurangi getaran translasi [1], dan rotasi [6]. Sistem DVA lebih dari satu yang ditempatkan pada titik pusat massa utama mampu mengurangi getaran translasi [4], [5]. Jika DVA berjarak terhadap pusat gravitasi dari massa utama, maka mampu pula mengurangi getaran rotasi [3], [6], [9]. Getaran rotasi terjadi karena eksitasi berjarak dengan titik pusat massa utama. Eksitasi dibuat dengan jenis massa tak seimbang. Pengurangan amplitudo terjadi pada frekuensi natural utama.

Gerak pendulum dengan redaman arus eddy telah diteliti oleh Suwarno [20]. Magnet di ujung pendulum dan didekatkan dengan pelat konduktor. Semakin jauh jarak pelat-magnet maka semakin lama pendulum berhenti berayun. Model pendulum lain dengan pendulum berlengan massa pemberat dan magnet. Pengaruh panjang kedua lengan pendulum itu dipelajari oleh Farid [21]. Panjang lengan mempengaruhi lengan gaya redaman dan inersia pendulum. Lengan magnet semakin panjang maka torsi redaman semakin besar. Lengan massa pemberat semakin panjang maka waktu hingga berhentinya pendulum semakin lama. Pada model pendulum yang sama, Putra meneliti pengaruh *grade* dan ukuran tebal magnet [23]. Magnet dengan *grade* semakin tinggi dan ukuran semakin tebal mengakibatkan pendulum semakin cepat berhenti. Ardi meneliti pengaruh sudut pelat tembaga dan bidang gerak pendulum [22]. Sudut semakin besar mengakibatkan rata-rata jarak antara magnet ujung pendulum dan pelat semakin dekat sehingga pendulum semakin cepat berhenti.

ECTMD merupakan upaya lain dalam pengurangan getaran. Penggunaannya pada sistem batang utama kantilever diteliti oleh Efendi [27]. Magnet berada di ujung batang DVA kantilever, sedangkan pelat konduktor di batang utama kantilever. Di riset lain, sistem utama dan DVA menggunakan massa dan pegas heliks sederhana, dengan berbagai macam posisi magnet dan konduktor. Model pertama dengan magnet di massa DVA dan konduktor *grounded* [15]. Model kedua dengan konduktor di massa DVA dan magnet di massa utama [14].

Massa dan pegas sederhana heliks digunakan pada penelitian. Magnet berada di massa DVA dan massa utama, sedangkan pelat konduktor *grounded*. Redaman arus eddy berlaku sebagai redaman pada sistem utama dan sistem DVA terhadap *grounded*. Variasi pada jarak konduktor-magnet dan *grade* pada magnet.

METODE

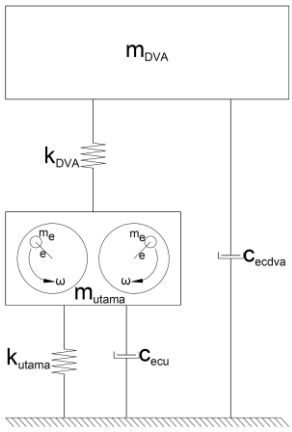
Massa sistem utama dan DVA berupa *linear bearing*. Kekakuan sistem utama dan DVA berupa pegas heliks. Magnet diletakkan di massa DVA dan sistem utama. Pelat konduktor berbahan tembaga diletakkan pada landasan atau rangka alat uji sehingga tidak ikut bergetar. Tebalnya 3 mm. Massa utama 870 gram, tanpa magnet. Massa DVA 400 gram, tanpa magnet. Massa magnet 26 gram. Pegas heliks memiliki kekakuan 494.55 N/m.

Eksitasi ditimbulkan dengan rotasi massa tak seimbang. Putaran diatur sehingga frekuensi eksitasi dapat diatur. Pasangan *spur gear* rasio 1:1 dipakai agar sinkron putaran antar dua sisi massa tak seimbang. Massanya 69 gram dan ditempatkan pada kedua roda gigi.

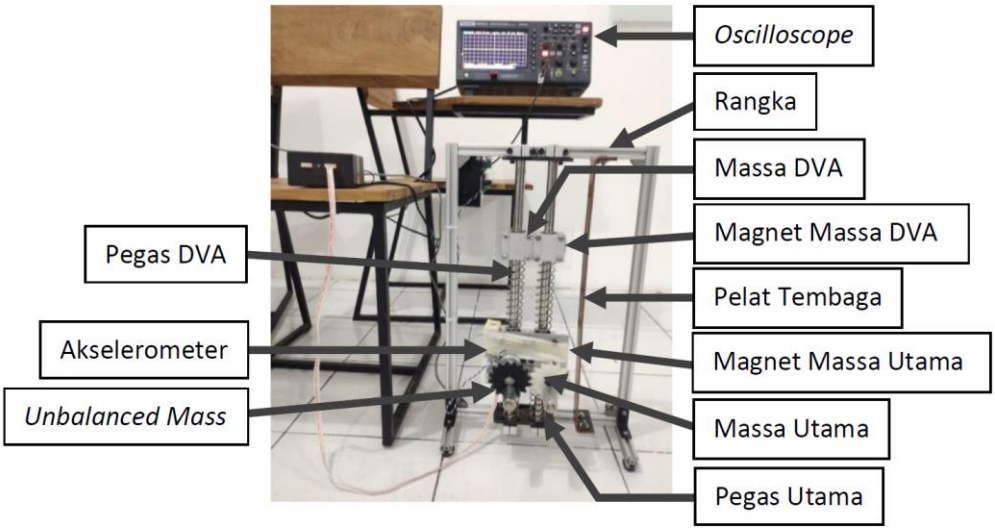
Respons akselerasi massa utama ditinjau. Pengukuran menggunakan akselerometer ADXL335 GY61. Tipe akselerometer yang sama juga dipakai pada riset sebelumnya [13], [14], [15], [16], [19], [27]. Sinyal respons diolah *oscilloscope* HANTEK DSO2D10. Gambar berikut model sistem.

Variasi jarak jarak konduktor-magnet antara lain 5 mm, 10 mm, dan 15 mm. Magnet tak berubah yang digunakan adalah *grade* N35. Variasi *grade* magnet antara lain N35, N45, dan N52. Jarak konduktor-magnet tak berubah yang digunakan sebesar 15 mm.

Akselerasi massa utama diukur. Sinyal diolah *oscilloscope* sehingga diperoleh RMS atau *Root Mean Square*, dan amplitudo akselerasinya. Nilai akselerasi maksimal terukur 3 G atau terbaca 1.69 V di *oscilloscope*. Data berbagai kondisi sistem dibandingkan. Kondisi pertama adalah sistem tanpa redaman. Kondisi kedua adalah sistem dengan DVA sederhana. Kondisi ketiga adalah sistem dengan tambahan arus eddy. Kondisi DVA sederhana tanpa tambahan arus eddy.



Gambar 1. Model konfigurasi sistem yang diteliti.



Gambar 2. Peralatan uji getaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen menunjukkan getaran pada sistem tanpa redaman lebih tinggi dibandingkan sistem dengan DVA sederhana. Getaran yang lebih tinggi ini terlihat dari amplitudo dan RMS olahan *oscilloscope*. Penambahan arus eddy memberikan redaman sehingga getaran massa utama menjadi lebih rendah lagi dibandingkan sistem tanpanya. Berikut tabel hasil eksperimen kondisi dengan dan tanpa DVA sederhana.

Tabel 1. Respons akselerasi massa dengan dan tanpa DVA sederhana.

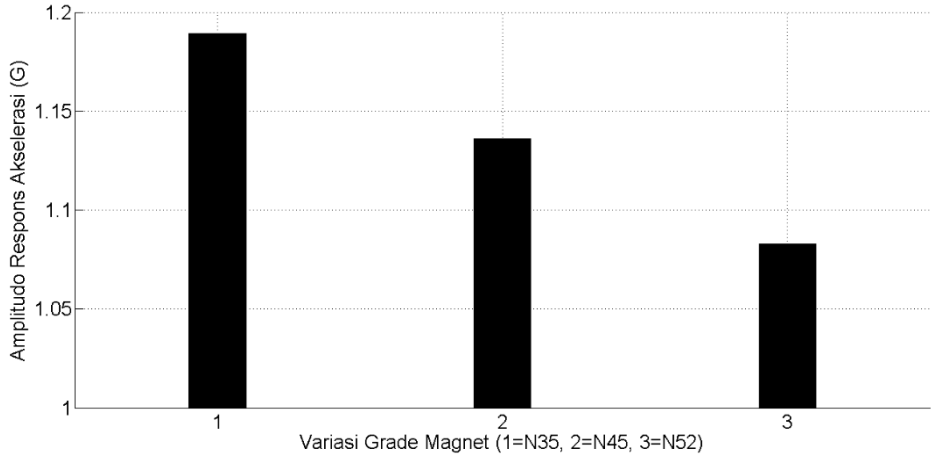
No.	Sistem	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	Tidak ada redaman	1,76	0,28
2	Dengan DVA sederhana	1,65	0,23

Eksperimen pengaruh *grade* magnet menunjukkan hasil bahwa magnet dengan *grade* semakin tinggi maka getaran massa utama semakin rendah. Hal ini disebabkan magnet dengan *grade* yang semakin tinggi menghasilkan kekuatan medan magnet yang semakin tinggi. Arus eddy bangkitannya juga menjadi semakin tinggi sehingga redaman arus eddy semakin tinggi. Berikut hasil eksperimen variasi tersebut.

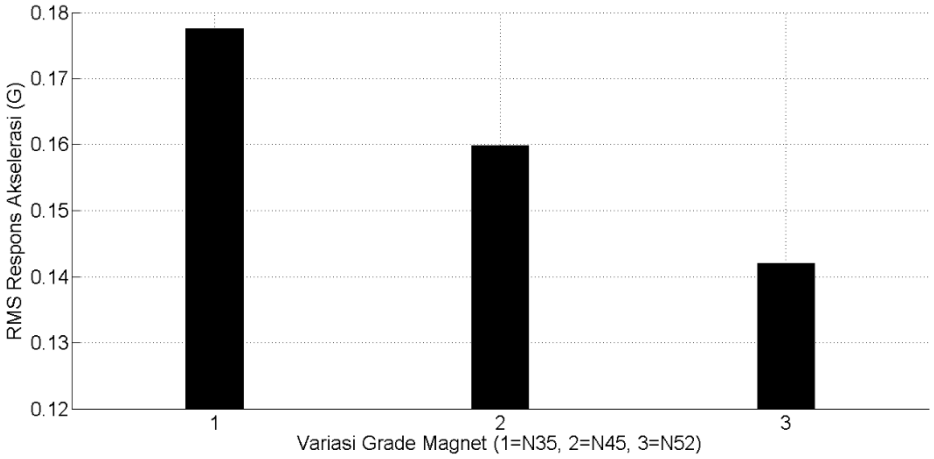
Tabel 2. Akselerasi massa utama dengan berbagai *grade* pada magnet.

No.	*Grade*	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	N 35	1.1893	0.1775
2	N 45	1.1361	0.1598
3	N 52	1.0828	0.1420

ISSN 2775-5630

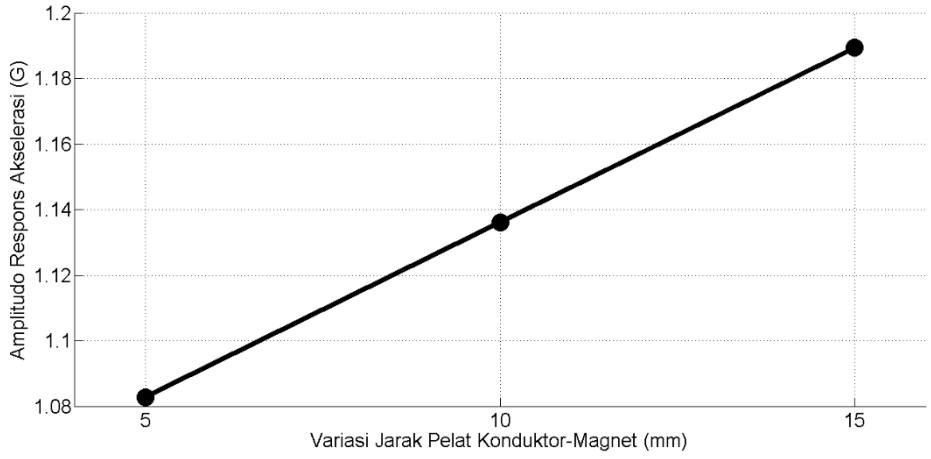


Gambar 3. Amplitudo akselerasi dengan berbagai *grade* magnet.

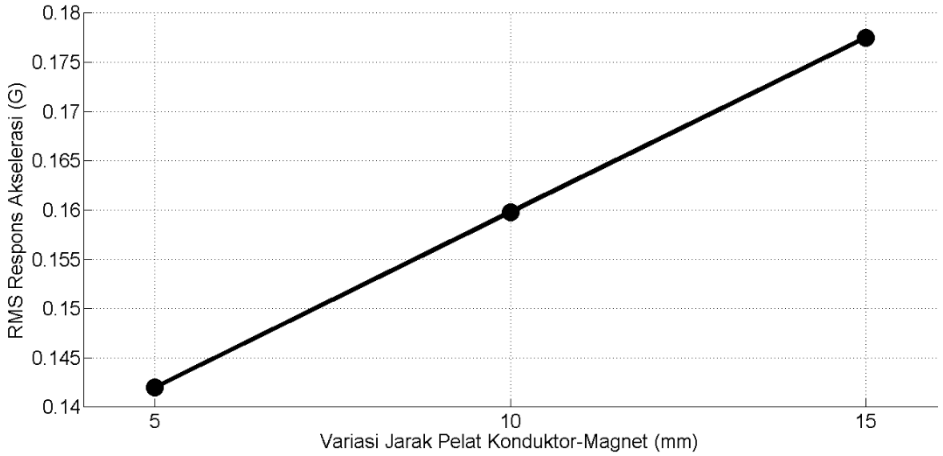


Gambar 4. RMS akselerasi dengan berbagai *grade* magnet.

Eksperimen pengaruh jarak konduktor-magnet memberikan hasil bahwa jarak konduktor-magnet yang semakin dekat menyebabkan getaran massa utamanya semakin rendah. Jarak yang semakin dekat menyebabkan kuat medan magnet semakin besar. Arus eddy bangkitannya menjadi semakin besar sehingga redaman karenanya pun semakin besar. Hasil eksperimen variasi tersebut berikut.



Gambar 5. Amplitudo akselerasi dengan berbagai jarak konduktor-magnet.



Gambar 6. RMS akselerasi dengan berbagai jarak konduktor-magnet.

Tabel 3. Akselerasi massa utama dengan berbagai jarak konduktor-magnet.

No.	Jarak konduktor-magnet (mm)	Nilai amplitudo (G)	Nilai RMS (G)
1	5	1.0828	0.1420
2	10	1.1361	0.1598
3	15	1.1893	0.1775

Sistem DVA mampu mengurangi respons akselerasi massa utama. Fenomena ini sejalan dengan riset DVA sebelumnya [1], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Tambahan redaman akibat arus eddy mampu membuat respons akselerasi lebih rendah lagi dibandingkan tanpanya. Fenomena ini sesuai denngan riset ECTMD sebelumnya [14], [15], [16], [27]. Riset dapat dilanjutkan dengan meninjau amplitudo akselerasi dalam domain frekuensi sehingga diketahui karakteristik getarannya.

KESIMPULAN

Eksperimen menggunakan model getaran berperedam DVA dan arus eddy. Letak magnet di massa sistem DVA dan utama. Letak pelat konduktor di landasan atau rangka sehingga *grounded*. Redaman akibat arus eddy berlaku sebagai redaman utama dan redaman DVA-landasan. Respons sistem dengan DVA sederhana lebih rendah dibandingkan sistem tanpanya. Sistem dengan tambahan redaman arus eddy bergetar lebih rendah lagi dibandingkan tanpanya. Magnet dengan *grade* yang semakin tinggi dan pelat-magnet yang semakin dekat menyebabkan getaran massa utama semakin rendah. Riset lebih lanjut ditujukan untuk mengetahui karakteristik getaran sistem domain waktu.

DAFTAR PUSTAKA

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

[2] Y. Fitri and Y. Susatio, "Simulasi Peredaman Getaran Mesin Rotasi Menggunakan Dynamic Vibration Absorber (DVA)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, pp. D108–D112, 2013.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[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] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

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

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

[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.

[27] 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.