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)

Bayu Satrio Yudho[1], Muhammad Suudi[2], Ardi Noerpamoengkas[3], Ahmad Yusuf Ismail[4]
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3,4]
e-mail: bayusatrio62@gmail.com

ABSTRACT

The combined mechanism of DVA (Dynamic Vibration Absorber) and eddy current damper is applied in this research. Eddy currents are generated by bringing a copper plate and a permanent magnet close together. In this research, a copper plate was placed on the main mass and a magnet on the DVA mass. The copper plate-magnet distance and magnet grade were varied. The response is viewed from the amplitude and RMS or root mean square of the main mass acceleration. The response data that were compared included the response with DVA-eddy current, with DVA only, and without DVA. Experimental results show that the higher the magnet grade and the closer the distance between the copper plate and the magnet, the lower the mass response of the main system. This response is lower than systems without an eddy current mechanism.

Kata kunci: *Dynamic vibration absorber, eddy current damper, vibration*.

ABSTRAK

Mekanisme gabungan DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) dan peredam arus eddy diterapkan pada penelitian ini. Arus eddy ditimbulkan dengan mendekatkan pelat tembaga dan magnet permanen. Pada penelitian ini, pelat tembaga ditempatkan pada massa utama dan magnet pada massa DVA. Jarak pelat tembaga-magnet dan *grade* magnet divariasikan. Respons ditinjau dari amplitudo dan RMS atau *root mean square* akselerasi massa utama. Data respons yang dibandingkan antara lain respons sistem dengan DVA-arus eddy, dengan DVA saja, dan tanpa DVA. Hasil eksperimen menunjukkan semakin tinggi *grade* magnet dan semakin dekat jarak pelat tembaga-magnet, maka semakin rendah respons massa utama. Respons ini lebih rendah dibandingkan sistem tanpa mekanisme arus eddy.

Kata kunci: *Dynamic vibration absorber*, getaran, peredam arus eddy.

PENDAHULUAN

DVA atau *Dynamic Vibration Absorber* digunakan sebagai penurun respons getaran [1]. DVA tersusun dari massa dan pegas yang ditambahkan pada sistem massa-pegas utama. DVA diperuntukkan untuk menurunkan respons getaran translasi [1], [2], atau translasi-rotasi [3], [4]. Dua sistem massa-pegas-redaman DVA dipasang secara seri pada sistem utama untuk reduksi respons arah translasi [5], [6]. Pengurangan respons arah translasi-rotasi diperoleh dengan tambahan dua sistem DVA [7]–[9], dan tiga sistem DVA [10] secara seri. DVA bisa diaplikasikan dengan pegas heliks [11], [12], *cantilever beam* [3], [6], [13], bola menggelinding [14], atau pendulum [15].

Redaman lain dapat memakai mekanisme arus eddy. Pelat konduktor dan magnet didekatkan dengan jarak tertentu dan gerak relatif satu terhadap yang lain [11]–[13], [15]–[18]. Mekanisme getaran menggunakan pendulum dengan logam aluminium [19] dan tembaga [16]–[18].

Mekanisme DVA ini dapat digabung dengan peredam arus eddy. Massa magnet sebagai massa DVA dan batang kantilever dipakai sebagai kekakuan sistem [13]. Massa magnet ditempatkan pada ujung pendulum sebagai DVA [15]. Kekakuan menggunakan pegas heliks dan penempatan massa magnet pada DVA dan konduktor diam atau *grounded* [12]. Penempatan magnet juga dapat dilakukan pada massa utama dan konduktor pada DVA [11].

Penelitian yang sudah ada belum ada yang meneliti penempatan massa magnet permanen pada DVA dan pelat konduktor tembaga pada massa utama. Magnet menjadi bagian dari massa DVA. Pelat tembaga menjadi bagian dari massa utama. Sistem utama dan sistem DVA masing-masing adalah sistem satu derajat kebebasan. Penambahan peredam arus eddy ini juga dapat dianggap sebagai redaman pada sistem DVA.

TINJAUAN PUSTAKA

Gaya Lorentz redaman akibat arus eddy, F_L, (Newton) sebagai berikut [20].

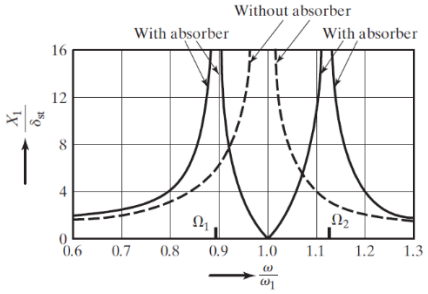
$$F_L = J \cdot B$$

$$F_L = \sigma \cdot v \cdot B^2 \quad \ldots(1)$$

Di mana J kerapatan arus eddy terinduksi (A/m^2), B kuat medan magnet (W/m^2), σ konduktifitas elektrik material (S/m), dan v kecepatan konduktor terhadap magnet (m/s).

Redaman arus eddy diaplikasi pada getaran pendulum pada penelitian sebelumnya. Suwarno memberikan variasi jarak pelat konduktor-magnet dengan posisi magnet pada ujung menggantung pendulum [19]. Jarak yang semakin dekat menyebabkan pendulum lebih cepat kembali diam di posisi setimbangnya. Farid menggunakan pendulum lengan ganda dengan sisi lengan magnet dan pemberat [16]. Panjang lengan kedua sisi tersebut divariasikan. Lengan magnet yang lebih panjang menyebabkan torsi redaman lebih besar, sedangkan pada lengan pemberat yang lebih pendek menyebabkan pendulum lebih cepat kembali diam. Putra membuat variasi *grade* dan tebal magnet pada model pendulum yang sama [18]. *Grade* magnet yang lebih tinggi dan tebal magnet yang lebih besar menyebabkan *settling time* lebih cepat. Ardi membuat posisi bidang gerak pendulum menyudut terhadap pelat konduktor [17]. Sudut semakin besar, jarak pelat-magnet semakin dekat sehingga pendulum lebih cepat mencapai kondisi setimbangnya.

DVA paling sederhana dengan menambahkan sistem massa-pegas [1]. Penempatan tambahan lebih dari satu massa-pegas DVA pada titik pusat massa dapat mengurangi respons translasi massa utama [5], [6]. Posisi DVA berjarak dari titik pusat gravitasi massa utama dapat mengurangi respons tidak hanya translasi, namun juga rotasi [3], [4], [9]. Fenomena penurunan respons ini dapat dilihat pada grafik berikut [1]. Pada grafik terlihat, penurunan respons pada frekuensi natural sistem tanpa DVA.



Gambar 1. Respons sistem dengan (—) dan tanpa (--) DVA [1].

Gabungan DVA dan redaman arus eddy dapat menurunkan getaran sistem utama. Efendi menerapkan gabungan mekanisme ini pada getaran batang kantilever [13]. Pada batang kantilever sistem utama diletakkan pelat konduktor. Pada ujung batang kantilever DVA diletakkan magnet. Budiarto menerapkan mekanisme ini pada sistem utama massa-pegas heliks [12]. Pelat konduktor diletakkan pada landasan atau *grounded* sehingga tidak bergerak terhadap landasan. Magnet diletakkan pada DVA. DVA juga dari massa-pegas heliks. Pambayun meneliti penerapannya dengan meletakkan pelat tembaga pada DVA dan magnet permanen pada massa utama [11]. Zarkacy menerapkan peredam arus eddy sebagai mekanisme *pounding* dan redaman pada DVA model pendulum [15].

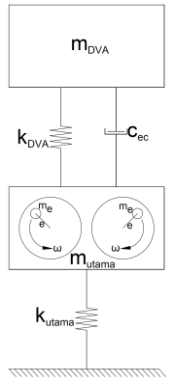
Penelitian ini menggunakan sistem utama massa-pegas heliks. Penempatan magnet dan pelat konduktor tidak seperti penelitian sebelumnya. Magnet ditempatkan pada DVA. Pelat tembaga pada massa utama. Pengaruh *grade* magnet dan jaraknya dengan pelat terhadap respons massa sistem utama diteliti.

METODE

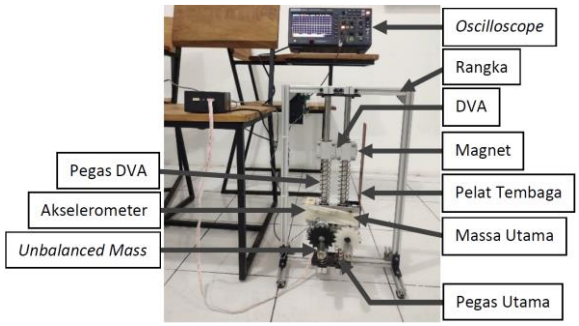
Penelitian ini menggunakan massa dan pegas sederhana. Massa berupa *linear bearing*, baik untuk DVA maupun massa utama. Kekakuan menggunakan pegas heliks tekan untuk DVA dan sistem utama. Mekanisme arus eddy diaplikasikan dengan penambahan pelat konduktor dan magnet permanen yang saling didekatkan. Magnet dipasang pada DVA. Konduktor dipasang pada massa utama. Konduktor berbahan tembaga dengan bentuk pelat dengan tebal 3 mm. Massa utama tersusun dari *linier bearing*, mekanisme pengganggu/*exciter*, dan pelat. Besar massa utama 1.164 kg. Massa DVA 426 g. Kekakuan pegas 494.55 N/m.

Mekanisme pengganggu menggunakan massa tak seimbang yang berputar. Mekanisme menggunakan motor listrik sebagai pemutar dengan pengatur kecepatan. Pengatur kecepatan ini sebagai pengatur frekuensi pengganggu. Sepasang roda gigi dengan massa tak seimbang terpasang digunakan. Satu massa tak seimbang sebesar 69 g.

Respons akselerasi diukur dan ditinjau. Pengukuran respons akselerasi memakai akselerometer ADXL335 tipe GY-61. Penggunaan alat ukur ini juga dilakukan pada penelitian yang lalu [11]–[15]. Sinyal akselerometer diterima dan diolah dengan *oscilloscope* HANTEK tipe DSO2D10. Gambar berikut model dari sistem.



Gambar 2. Model sistem.



Gambar 3. Alat pengujian respons getaran.

Di mana m_{utama} massa utama, k_{utama} pegas utama, m_{DVA} massa DVA, k_{DVA} pegas DVA, c_{ec} redaman arus eddy, m_e massa tak seimbang, e eksentrisitas, dan ω kecepatan putar pengganggu.

Jarak pelat konduktor-magnet tetap yang dipilih sebesar 15 mm dengan variasi pada *grade* magnet. Magnet tetap N35 dengan variasi jarak pelat konduktor-magnet. Tabel variasi yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 1. *Grade* magnet yang divariasikan.

No.	*Grade* Magnet	Jarak Pelat-Magnet
1	N35	15 mm
2	N45	15 mm
3	N52	15 mm

Tabel 2. Jarak pelat konduktor-magnet yang divariasikan.

No.	*Grade* Magnet	Jarak Pelat-Magnet
1	N35	5 mm
2	N35	10 mm
3	N35	15 mm

Respons yang diukur adalah respon akselerasi. *Oscilloscope* mengolah data masukan dengan hasil nilai amplitudo dan *root mean square* atau RMS. Amplitudo maksimal terukur sebesar 3 G atau setara 1.69 V tegangan yang diterima *oscilloscope* dari sinyal akselerometer. Perbandingan data dilakukan antara sistem dengan dan tanpa DVA-arus eddy.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen menunjukkan penggunaan DVA (tanpa arus eddy) pada sistem utama dapat menurunkan amplitudo. Hal ini dilihat dari amplitudo dan RMS akselerasi sistem dengan DVA (tanpa arus eddy) yang lebih kecil dibandingkan sistem utama saja. Penambahan arus eddy pada sistem utama dan DVA menyebabkan penurunan respons yang lebih rendah lagi. RMS dan amplitudo respons sistem dengan arus eddy lebih rendah dibandingkan tanpa arus eddy. Berikut tabel respons massa utama dengan dan tanpa DVA (DVA tanpa arus eddy).

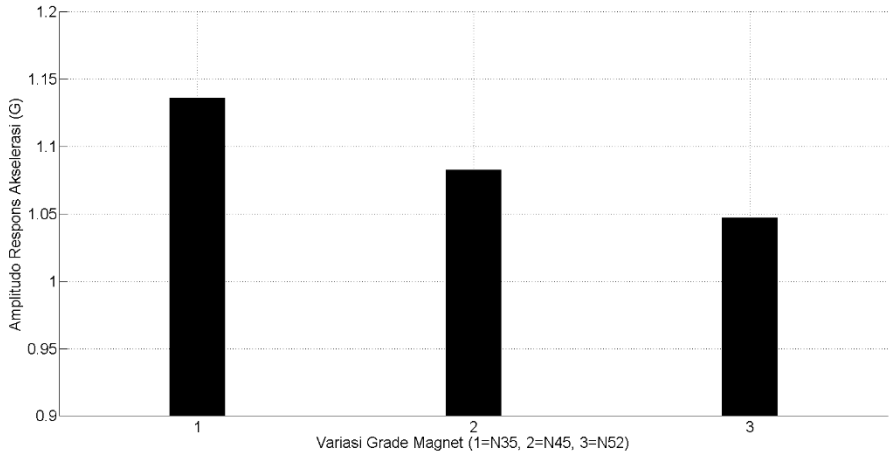
Tabel 3. Nilai respons sistem tanpa arus eddy.

No.	Kondisi peredam	Amplitudo	RMS
1	Tanpa DVA-arus eddy	1,76 G	0,28 G
2	Dengan DVA dan tanpa arus eddy	1,65 G	0,23 G

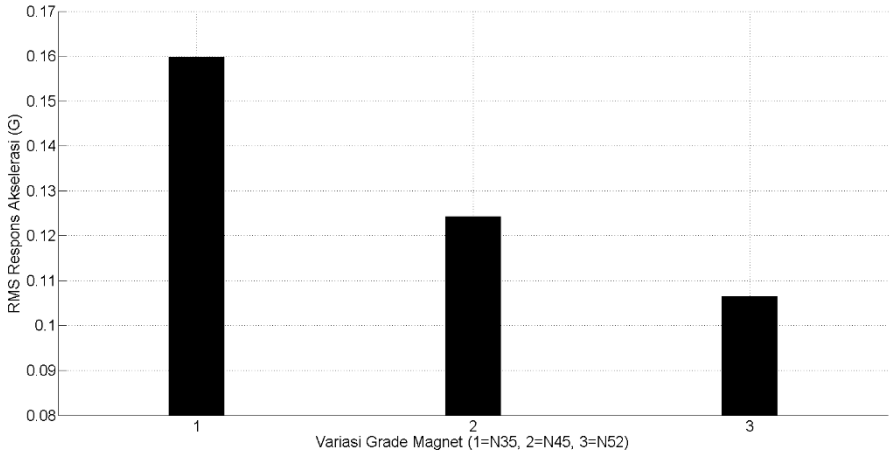
Hasil eksperimen pada variasi magnet menunjukkan *grade* magnet semakin tinggi maka respons massa utama semakin kecil. *Grade* magnet yang semakin tinggi menimbulkan kuat medan magnet dan arus eddy yang semakin tinggi. Hal ini menyebabkan redamannya semakin besar. Berikut tabel respons dengan variasi *grade* magnet tersebut.

Tabel 4. Nilai respons dengan variasi magnet.

No.	*Grade* magnet	Amplitudo	RMS
1	N35	1.1361 G	0.1598 G
2	N45	1.0828 G	0.1243 G
3	N52	1.0473 G	0.1065 G



Gambar 4. Amplitudo respons akibat pengaruh variasi *grade* magnet.

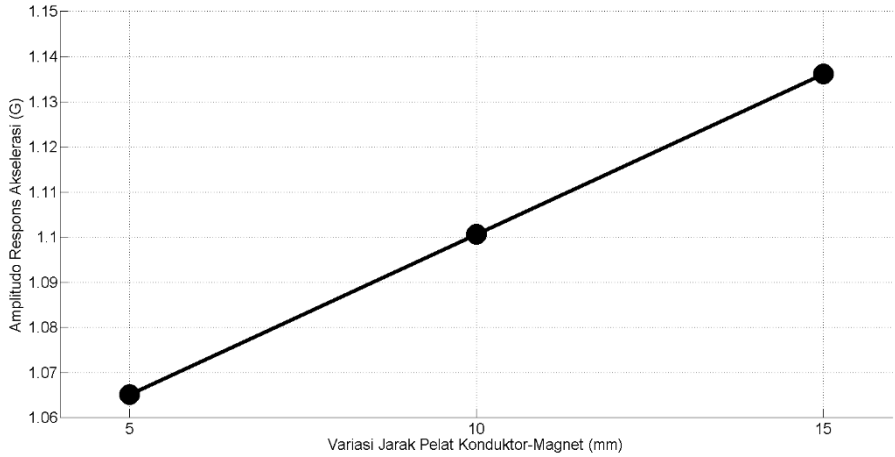


Gambar 5. RMS respons akibat pengaruh variasi *grade* magnet.

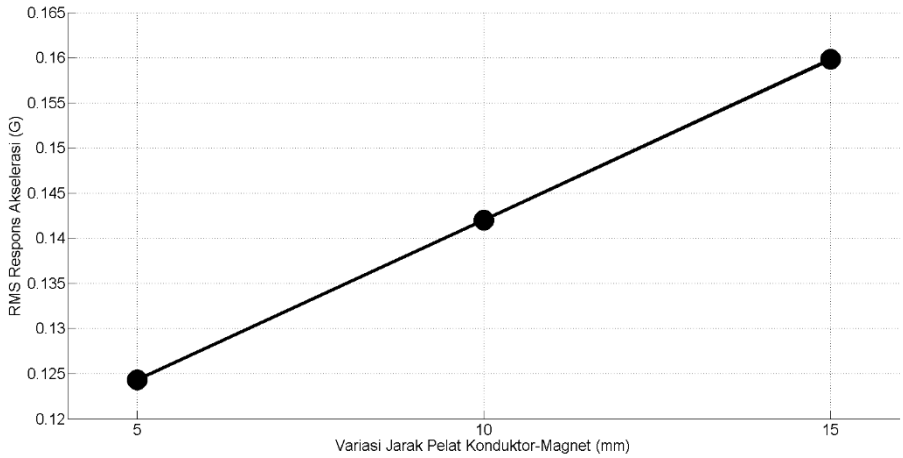
Hasil eksperimen variasi jarak pelat-magnet menunjukkan semakin dekat jarak pelat konduktor-magnet maka semakin rendah respons massa utama. Jaraknya semakin dekat maka kuat medan magnet dan arus eddy semakin besar. Redaman yang ditimbulkannya juga semakin besar. Berikut tabel respons dengan variasi jarak pelat konduktor-magnet tersebut.

Tabel 5. Nilai respons dengan variasi jarak pelat-magnet.

No.	Jarak pelat-magnet	Amplitudo	RMS
1	5 mm	1.0651 G	0.1243 G
2	10 mm	1.1006 G	0.1420 G
3	15 mm	1.1361 G	0.1598 G



Gambar 6. Amplitudo respons akibat pengaruh variasi jarak pelat konduktor-magnet.



Gambar 7. RMS respons akibat pengaruh variasi jarak pelat konduktor-magnet.

Penambahan DVA dapat menurunkan respons getaran massa sistem utama. Kondisi ini sesuai dengan fenomena yang umum ditemui pada aplikasi DVA penelitian yang lalu [1]–[10]. Sedangkan pengaruh peningkatan kuat medan magnet, akibat peningkatan *grade* magnet dan pendekatan jarak antara pelat dan magnet, terhadap redaman juga sesuai dengan persamaan 1 [20]. Kecenderungan tren yang linier karena adanya pengaruh mekanisme DVA dan kuat medan magnet tinggi dari *grade* magnet yang digunakan. Magnet Neodymium adalah magnet permanen paling kuat [21] dengan remanen minimum *grade* N35 sebesar 1.17 T [18], [22]. Mekanisme gabungan redaman arus eddy-DVA juga dapat membuat respons massa utama lebih rendah lagi dibandingkan tanpa mekanisme arus eddy. Kondisi ini juga sejalan dengan penelitian yang lalu [11]–[13]. Penelitian selanjutnya tentang amplitudo respons dalam domain frekuensi dapat dilakukan sehingga dapat diketahui karakteristik getaran sistem dengan mekanisme DVA dan redaman arus eddy.

KESIMPULAN

Penambahan DVA dapat mengurangi respons massa sistem utama secara umum. Gabungan mekanisme arus eddy dan DVA dapat membuat respons lebih rendah dibandingkan tanpa mekanisme arus eddy. Penelitian ini memvariasikan jarak pelat konduktor-magnet dan *grade* magnet. Pelat konduktor-magnet semakin dekat dan *grade* magnet semakin tinggi maka semakin rendah respons getaran massa utama. Penelitian selanjutnya tentang respons domain frekuensi pada sistem dengan mekanisme gabungan tersebut.

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] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[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] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

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

[20] Y. Y. Rong, "Simulation on Eddy Current Damper and Its Regenerative Behaviour in Shock Absorber for Electric Vehicle," Universiti Tunku Abdul Rahman, 2013.

[21] "How Strong Are Neodymium Magnets? | Stanford Magnets." Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: https://www.stanfordmagnets.com/how-strong-are-neodymium-magnets.html

[22] "Neodymium Magnet Grades | Stanford Magnets." Accessed: Sep. 12, 2022. [Online]. Available: https://www.stanfordmagnets.com/neodymium-magnet-grades.html