Studi Eksperimental Respons Model Bangunan Kondisi Tunak Berperedam *Eddy Current Roller Tuned Mass Damper* dengan Variasi Grade Magnet dan Jarak Pelat Tembaga-Magnet

Fajar Ramadhan Manggala Prakasa[1], Rizqi Azhimi[2], Fariz Firdausy Ishari[3], Ardi Noerpamoengkas[4]
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3,4]
e-mail: fajaranggaramadhan@gmail.com[1]

ABSTRACT

This research uses a TMD (Tuned Mass Damper) roller and eddy current model or ECRTMD (Eddy Current Roller TMD). Eddy current damping becomes TMD damping. The roller uses a cylindrical magnet. The conductor uses a conductor plate that is placed close to the track. Variations are given in the grade of the magnet and the copper plate-magnet distance. The response is measured, and the data is processed to obtain the amplitude. A higher amplitude indicates a higher response. Experiments show that the higher the magnetic grade and the closer the magnet-plate distance, the lower the system response.

Keywords: *Eddy current, roller, tuned mass damper, vibration response.*

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan TMD (*Tuned Mass Damper*) model *roller* dan arus eddy, atau ECRTMD (*Eddy Current Roller TMD*). Redaman arus eddy menjadi redaman TMD. *Roller* menggunakan magnet silinder. Konduktor menggunakan pelat konduktor yang didekatkan pada lintasan. Variasi diberikan pada *grade* pada magnet dan jarak antara pelat tembaga dan magnet. Pengukuran respons dilakukan dan datanya diolah sehingga didapat amplitudo. Amplitudo yang semakin tinggi menunjukkan respons semakin tinggi. Eksperimen menunjukkan *grade* magnet yang semakin tinggi dan jarak pelat-magnet yang semakin dekat mengakibatkan respons sistem semakin rendah.

Kata kunci: Arus eddy, respons getaran, *roller*, *tuned mass damper*.

PENDAHULUAN

TMD (*Tuned Mass Damper*) mampu mengurangi getaran dengan menambahkan massa pegas pada sistem utama [1]. Amplitudo lebih rendah dibandingkan tanpa TMD pada nilai frekuensi natural sistem utama. Massa-pegas yang ditambahkan ini dapat berupa massa-pegas sederhana [2], [3], [4]. Model lain menggunakan batang TMD kantilever [5], [6], [7], [8], [9]. TMD lain menggunakan mekanisme jungkat-jungkit [10]. Gerak bola menggelinding menyerupai pendulum juga digunakan sebagai mekanisme TMD [11].

Perkembangan TMD dengan redaman alternatif. Redaman arus eddy adalah salah satunya [2], [3], [4]. Arus eddy terbangkitkan dengan menambahkan konduktor yang didekatkan magnet dan bergerak satu relatif terhadap yang lain. Selain model massa-pegas sederhana, model lain menggunakan batang TMD kantilever [12].

TMD diterapkan untuk getaran model bangunan. Getaran ditinjau pada massa model lantai. Kekakuan dimodelkan pada tiang model bangunan dengan beberapa model TMD. Model gesekan digunakan sebagai redaman pada TMD [13], silinder berputar [14], bola [11], dan pendulum [15], [16], [17], [18]. Beberapa TMD pendulum menggunakan penahan untuk membatasi gerak pendulum [16], [17], [18].

Redaman aktif dapat diterapkan pada TMD pendulum menggunakan arus eddy. Pelat konduktor dan magnet bergerak satu relatif terhadap yang lain dan saling didekatkan. Jarak keduanya diatur sedemikian sehingga redaman arus eddy yang terjadi dapat diatur [15], [19].

Penelitian-penelitian terdahulu belum ada yang meneliti penerapan redaman arus eddy pada TMD model bangunan tipe silinder/*roller* yang menggelinding. Penelitian menerapkannya dengan menggunakan magnet berbentuk silinder/*roller* sebagai massa silinder/*roller*. Arus eddy dibangkitkan dengan mendekatkannya dengan pelat konduktor. Selanjutnya, model redaman ini disebut ECRTMD atau *Eddy Current Roller TMD*. Jarak magnet-konduktor dan *grade* magnet divariasikan. Getaran kondisi tunak model bangunan ditinjau.

ISSN 2775-5630

TINJAUAN PUSTAKA

Getaran model bangunan dengan TMD diteliti oleh Suryadi [20]. Model plafon bangunan diberi TMD. Respons getaran *base* dan model plafon ini diukur. Respons peralihan model plafon dengan TMD lebih rendah dengan meninjau *settling time* yang lebih cepat dibandingkan tanpanya.

TMD model bola yang menggelinding digunakan Irfani dalam penelitiannya [11]. Bola bergerak dalam lintasan yang ditempatkan pada model plafon bangunan tinjauan. Massa bola dan radius lintasannya divariasikan. Massa bola dan radius lintasan semakin kecil maka respons getarannya semakin besar.

Model bangunan bertingkat digunakan sebagai sistem utama tinjauan dalam penelitian Wong [21]. Model bertingkat 1 sampai 15 tingkat. Penempatan TMD pada model plafon/lantai teratas. TMD berupa massa-pegas-redaman sederhana. Eksitasi akselerasi memakai akselerogram gempa. Rasio massa sistem utama dan TMD divariasikan. Rasionya yang semakin besar mengakibatkan persentase penurunan respons semakin besar.

TMD magnetik digunakan dalam penelitian Bae [22]. TMD menggunakan redaman arus eddy. Rasio massa, rasio redaman, dan rasio frekuensi natural divariasikan. Tinjauan dilakukan pada respons sistem dalam domain frekuensi. Rasio redaman semakin besar maka amplitudo semakin besar pada rasio frekuensi satu. Amplitudo semakin kecil pada frekuensi natural ke-1, dan semakin besar pada frekuensi natural ke-2 pada kondisi rasio frekuensi natural yang semakin kecil. Penelitian lain menggunakan model TMD lebih dari satu [23].

TMD dan arus eddy pada model batang kantilever diteliti oleh Efendi [12]. Batang memberikan kekakuan dan massa magnet di ujungnya pada batang TMD. Pelat konduktor tembaga diletakkan pada batang kantilever utama. Redaman arus eddy dijadikan alternatif redaman TMD. Respons getaran ujung batang kantilever utama lebih rendah dibandingkan tanpa TMD.

Model struktur berbentuk lempengan digunakan sebagai model sistem utama dalam penelitian Fredy [10]. TMD menggunakan model jungkat-jungkit dengan massa-pegas dan redamannya terpisah. Bentuk redaman berupa logam berbentuk x. Penerapannya memberikan rasio redaman yang lebih besar daripada sistem dalam kondisi lain.

Getaran turbin diredam menggunakan TMD pada penelitian Lian [24]. Magnet digantung dengan kabel sebagai model TMD. Redaman arus eddy dibangkitkan dengan mendekatkan magnet tersebut dengan pelat tembaga. Celah magnet-pelat yang semakin jauh dan ukuran magnet yang semakin kecil menyebabkan rasio redaman semakin kecil. Sistem sama juga diteliti oleh Lu [25].

TMD dengan redaman geseran diteliti oleh Jiang [13]. TMD berupa *linear bearing* dan pegas yang bergerak pada poros. Bahan poros divariasikan, antara lain aluminium, gelas, dan baja. Redaman ekivalen paling besar pada poros aluminium karena koefisien gesek yang paling besar.

TMD model *roller* yang menggelinding diteliti oleh Tsuda [14]. Ukuran dan banyak *roller* divariasikan sehingga dapat diperoleh respons domain frekuensinya. *Roller* dengan jumlah lebih dari satu dan ukuran diameter lebih kecil menghasilkan amplitudo respons paling kecil dibandingkan variasi kombinasi yang lain.

Redaman arus eddy aktif dikembangkan Wang pada TMD pendulum untuk model bangunan [15]. Magnet pada massa pendulum. Pelat tembaga dibuat bercelah sehingga dapat dilalui pendulum. Pelat ini mampu bergerak menggunakan aktuator linier sehingga dapat bergerak mendekat dan menjauhi magnet pendulum. Model lain pelat berada di bawah pendulum [19]. Pelat mampu bergerak dengan *stepping putter* sehingga jaraknya dengan magnet dapat diatur.

TMD pendulum dengan penahan gerak untuk model bangunan diteliti Wang [16]. TMD ini disebut *pendulum pounding* TMD. Koefisien restitusi antara pendulum dan penahannya mempengaruhi rasio frekuensi yang digunakan. Kombinasi rasio frekuensi dan koefisien restitusi dicari optimal sehinggga diperoleh getaran rendah.

Penelitian sebelumnya belum ada penggunaan *roller* untuk TMD dan arus eddy sebagai peredam. Penelitian ini menggunakan *roller* magnet. *Roller* bergerak dalam lintasan lengkung dari akrilik. Pelat tembaga pada dua sisi luar lintasan tersebut sehingga arus eddy terbangkitkan. Penelitian ini memvariasikan magnet dan posisi pelat tembaga tersebut.

METODE

Eksperimen getaran dilakukan pada model bangunan yang diberi peredam TMD *roller* dan arus eddy. Getaran pada model plafon bangunan berbahan kayu. Penyangga tiang berbahan akrilik. Massa tinjauan

ISSN 2775-5630

sebesar 614.8 kg (model plafon kayu dan lintasan akrilik). Tiang berbahan akrilik dengan massa 28.5 gram dan ukuran 360 x 35.6 x 2 mm. Eksitasi berupa *scotch yoke* pada landasan model bangunan.
Pengukuran respons pada model plafon bangunan. Alat ukuran akselerometer ADXL335 GY61. Tipe akselerometer ini juga dipakai pada penelitian terdahulu [11], [12], [26]. Sinyal diterima dan dioleh *oscilloscope* HANTEK DSO2D10. Berikut gambar peralatan uji.



Gambar 1. Model bangunan dan peralatan pengukuran getarannya.

Tabel 1. Parameter sistem.

No.	Besaran	Nilai	Satuan
1	Massa sistem utama	0.6148	kg
2	Radius lintasan	160	mm
3	Lebar tiang akrilik	35.6	mm
4	Panjang tiang akrilik	360	mm
5	Tebal tiang akrilik	2	mm
6	Tinggi silinder magnet	20	mm
7	Massa magnet	50	gram
8	Diameter magnet	20	mm
9	Amplitudo akselerasi eksitasi	1.7319	G
10	Periode eksitasi	800	ms

Tabel 2. Variasi magnet.

No.	*Grade*	Jarak pelat-magnet (mm)
1	N35	10
2	N42	10
3	N52	10

Tabel 3. Variasi jarak antara pelat tembaga dan magnet.

No.	*Grade*	Jarak pelat-magnet (mm)
1	N42	5
2	N42	10
3	N42	15

ISSN 2775-5630

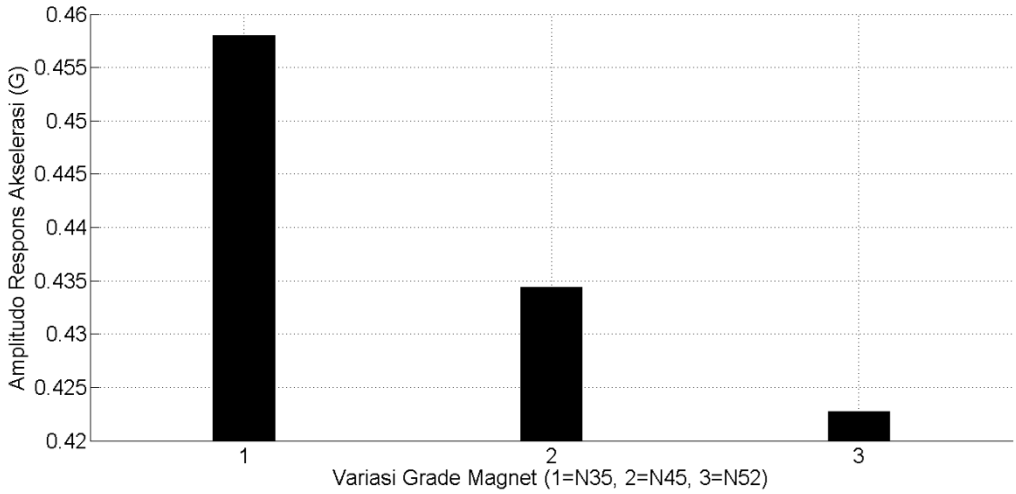
Respons kondisi tunak model plafon diterima dan diolah *oscilloscope*. Respons semakin kecil jika amplitudo semakin rendah. Akselerometer yang digunakan menerima akselerasi paling tinggi 3 G / 29.4 m/s^2, atau setara 1.022 V. Data sistem antara kondisi tanpa TMD dan dengan ECRTMD dibandingkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi eksperimental pada variasi magnet menunjukkan bahwa semakin tinggi *grade* maka semakin rendah respons akselerasi model bangunan. *Grade* yang semakin tinggi menyebabkan kekuatan medan magnet semakin besar. Bangkitan arus eddy semakin besar maka redaman karenanya semakin besar. Respons model bangunan menjadi semakin rendah.

Tabel 4. Respons model bangunan variasi magnet.

Grade	Amplitudo (G)
N35	0.4580
N42	0.4344
N52	0.4227



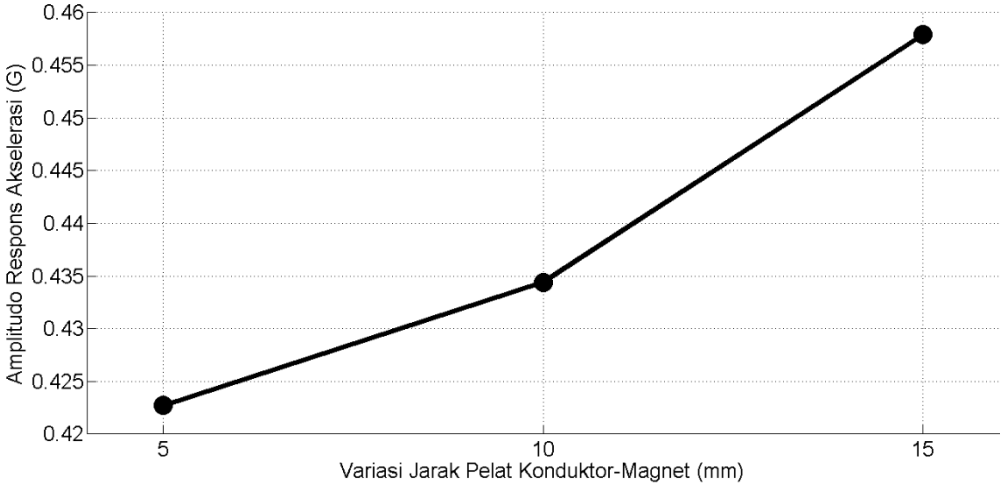
Gambar 2. Amplitudo akselerasi variasi magnet.

Jarak pelat-magnet semakin dekat maka respons semakin rendah. Jaraknya yang semakin jauh menyebabkan kekuatan medan magnet semakin kecil. Arus eddy terbangkitkan menjadi semakin besar sehingga redaman karenanya juga semakin besar. Berikut respons model bangunan variasi jarak tersebut.

Tabel 5. Respons model bangunan variasi jarak antara magnet dan pelat tembaga.

No.	Jarak magnet-pelat (mm)	Amplitudo (G)
1	5	0.4227
2	10	0.4344
3	15	0.4579

ISSN 2775-5630



Gambar 3. Amplitudo akselerasi variasi jarak pelat-magnet.

Kondisi respons setelah penambahan ECRTMD sejalan dengan penelitian TMD sebelumnya [2], [3], [4], [26]. Fenomena fisik umum akibat penambahan TMD ini adalah penurunan respons dibandingkan tanpa DVA dengan berapa pun persentase penurunannya. Berikut ini perbandingan respons tanpa dan dengan ECRTMD.

Tabel 6. Respons sistem tanpa dan dengan ECRTMD.

Kondisi	Amplitudo (G)
Tanpa TMD	0.7867
Dengan ECRTMD	0.4579

Penelitian berikutnya dapat meninjau amplitudo domain frekuensi. Tinjauan domain ini mampu memperlihatkan karakteristik getaran sistem. Tinjauan juga dapat pada kondisi lintasan. Selain itu, juga dapat ditinjau respons *transient* sistem.

KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan model bangunan sebagai sistem utama. TMD yang digunakan mengombinasikan gerak *roller* dan arus eddy, atau ECRTMD atau *Eddy Current Roller* TMD. Penambahan ECTMD mampu mengurangi respons dibandingkan tanpanya. Jarak magnet-pelat tembaga yang semakin dekat dan *grade* pada magnet yang semakin tinggi mengakibatkan respons sistem semakin rendah. Hal ini ditunjukkan pada amplitudo hasil olah data eksperimen. Studi berikutnya pada tinjauan domain frekuensi, kondisi lintasan, dan respons *transient*.

DAFTAR PUSTAKA

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

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[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] E. Kusumadewayanti and H. L. Guntur, "Studi Pengaruh Massa Dan Perubahan Lengan Momen Dual Dynamic Vibration Absorber (DVA)-Independent Terhadap Respon Getaran Sistem Utama 2-DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, Surabaya: Teknik Mesin UK Petra, 2015, p. DS-28.

[8] 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.

[9] Susastro and H. L. Guntur, "Pengaruh Perubahan Posisi Massa SDVA Dari Titik Berat Masa Utama Terhadap Karakteristik Getaran Translasi & Rotasi Sistem Utama 2 DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, Surabaya: Teknik Mesin UK Petra, 2015, p. DS-6.

[10] F. Picauly, H. Priyosulistyo, B. Suhendro, and A. Triwiyono, "Tuned Mass Damper on Reinforced Concrete Slab with Additional 'X-Shaped Metal' Absorber," *Procedia Eng*, vol. 95, pp. 204–212, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.PROENG.2014.12.180.

[11] 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.

[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] J. Jiang, S. C. M. Ho, N. J. Markle, N. Wang, and G. Song, "Design and control performance of a frictional tuned mass damper with bearing–shaft assemblies," *Journal of Vibration and Control*, vol. 25, no. 12, pp. 1812–1822, Mar. 2019, doi: 10.1177/1077546319832429.

[14] R. Tsuda and M. Saeki, "Efficiency of vibrational energy dissipation by tuned rolling-cylinder dampers," *J Sound Vib*, vol. 463, p. 114977, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JSV.2019.114977.

[15] L. Wang, W. Shi, Y. Zhou, and Q. Zhang, "Semi-active eddy current pendulum tuned mass damper with variable frequency and damping," *Smart Struct Syst*, vol. 25, no. 1, pp. 65–80, Jan. 2020, doi: 10.12989/SSS.2020.25.1.065.

[16] 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.

[17] Q. Wang, H. N. Li, and P. Zhang, "Vibration Control of a High-Rise Slender Structure with a Spring Pendulum Pounding Tuned Mass Damper," *Actuators 2021, Vol. 10, Page 44*, vol. 10, no. 3, p. 44, Feb. 2021, doi: 10.3390/ACT10030044.

[18] 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.

[19] L. Wang, S. Nagarajaiah, W. Shi, and Y. Zhou, "Study on adaptive-passive eddy current pendulum tuned mass damper for wind-induced vibration control," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 29, no. 15, p. e1793, Oct. 2020, doi: 10.1002/TAL.1793.

[20] D. Suryadi, M. R. Ridlo, N. Daratha, and I. Agustian, "Pengaruh Tuned Mass Damper (TMD) Terhadap Respons Getaran pada Struktur Bangunan," *Semesta Teknika*, vol. 24, no. 2, pp. 84–92, Nov. 2021, doi: 10.18196/ST.V24I2.12727.

[21] W. Foek Tjong, T. Andriono, R. Sumendap, F. Gunawan Site Engineer, and S. Bangun Persada Indah, "STUDI EFEKTIFITAS PENGGUNAAN TUNED MASS DAMPER PADA STRUKTUR GEDUNG DALAM MEREDUKSI RESPONS DINAMIK AKIBAT BEBAN SEISMIK," *Civil Engineering Dimension*, vol. 5, no. 2, pp. 51–62, 2003, doi: 10.9744/CED.5.2.PP.

[22] J. S. Bae, J. H. Hwang, J. H. Roh, J. H. Kim, M. S. Yi, and J. H. Lim, "Vibration suppression of a cantilever beam using magnetically tuned-mass-damper," *J Sound Vib*, vol. 331, no. 26, pp. 5669–5684, Dec. 2012, doi: 10.1016/J.JSV.2012.07.020.

[23] J. S. Bae, J. S. Park, J. H. Hwang, J. H. Roh, B. Do Pyeon, and J. H. Kim, "Vibration Suppression of a Cantilever Plate Using Magnetically Multimode Tuned Mass Dampers," *Shock and Vibration*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/3463528.

[24] J. Lian *et al.*, "Application of an Eddy Current-Tuned Mass Damper to Vibration Mitigation of Offshore Wind Turbines," *Energies 2018, Vol. 11, Page 3319*, vol. 11, no. 12, p. 3319, Nov. 2018, doi: 10.3390/EN11123319.

[25] Z. Lu, B. Huang, Q. Zhang, and X. Lu, "Experimental and analytical study on vibration control effects of eddy-current tuned mass dampers under seismic excitations," *J Sound Vib*, vol. 421, pp. 153–165, May 2018, doi: 10.1016/J.JSV.2017.10.035.

[26] 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.