

Respons Getaran Kondisi Tunak Model Bangunan dengan Variasi Posisi Konduktor dan *Grade Magnet* pada *Tuned Mass Damper Tipe Eddy Current Pendulum Pounding*

Fariz Firdausy Ishari¹ dan Ardi Noerpamoengkas²

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

e-mail: farizfirdausy99@gmail.com¹

ABSTRACT

Development of a building model damper by combining tuned mass damper pendulum pounding and eddy currents. Placement of conductor plate and magnetic pendulum mass in such a way as to cause pounding and eddy current effects. Steady-state vibration measurements on the building ceiling model. Vibration response with respect to amplitude and root mean square. Tests show that the response of the building model is lower under magnetic conditions with higher grade and lower plate position or larger size value. Further studies on the vibration characteristics of systems with this type of damper in the frequency domain.

Keywords: Eddy current, pendulum pounding, vibration damper.

ABSTRAK

Pengembangan peredam model bangunan dengan mengombinasikan *tuned mass damper pendulum pounding* dan arus eddy. Penempatan pelat konduktor dan massa pendulum magnet sedemikian sehingga dapat menimbulkan efek *pounding* dan arus eddy. Pengukuran getaran kondisi tunak pada model plafonnya. Respons getaran memperhatikan amplitudo dan *root mean square*. Pengujian menunjukkan respons model bangunan semakin rendah pada magnet dengan kondisi *grade* yang semakin tinggi dan posisi pelat yang semakin rendah atau nilai ukurannya yang semakin besar. Studi lebih lanjut pada karakteristik getaran sistem dengan tipe peredam ini dalam domain frekuensi.

Kata kunci: Arus eddy, *pendulum pounding*, peredam getaran.

PENDAHULUAN

Penambahan massa-pegas pada sistem getaran utama mampu menurunkan respons getaran [1], [2], [3], [4]. Penurunan terjadi pada frekuensi natural sistem utama. Mekanisme ini disebut *Tuned Mass Damper/TMD*. Massa-pegas dapat berupa massa dan pegas heliks sederhana [5], [6], [7], [8], [9], mekanisme tuas [10], silinder gelinding [11], maupun pendulum [12].

Kombinasi TMD dan peredam dilakukan pada pengembangan berikutnya. Satu jenis peredam yang digunakan menggunakan arus eddy [5], [6], [7], [8], [9], dan disebut *Eddy Current TMD/ECTMD*. Magnet bergerak dengan kecepatan relatif tertentu terhadap konduktor. Kedekatan posisi dan kuatnya medan magnet menimbulkan redaman yang besar.

Sistem utama dapat dimodelkan sebagai model bangunan [11], [12], [13]. Respons menunjukkan penurunan dibandingkan kondisi tanpa TMD. Penerapannya pada model bangunan, dikembangkan beberapa jenis TMD, seperti silinder gelinding [11], pendulum [12], [14], [15], [16], [17], dan gesekan [18]. Beberapa model pendulum ditambahkan penahan sebagai pembatas gerak pendulum [12], [14], [15], [16] atau disebut *pendulum pounding*.

Kombinasi TMD-arus eddy di model bangunan. Pendulum digunakan sebagai inersia dan kekakuan. Magnet sebagai massa pendulum di ujung, dan didekatkan dengan konduktor. Aktuator digunakan untuk menggerakkan konduktor dan terkontrol sehingga besar redaman dapat diatur [17], [19].

Pada penelitian sebelum, telah diteliti mengenai pengaruh ukuran pendulum dan jarak pelat-magnet pada kombinasi *pendulum pounding*-arus eddy [12]. Kombinasi ini disebut

ECPPTMD atau *Eddy Current - Pendulum Pounding* TMD. Magnet sebagai massa pendulum di ujung menggantung dan pelat dalam posisi horizontal yang dapat diatur. Penelitian sebelumnya belum meneliti mengenai pengaruh posisi pelat dan *grade* magnet. Posisi pelat semakin ke atas berarti semakin menjauhi magnet ujung. *Grade* magnet tinggi maka kuat medan magnet juga tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Model bangunan dengan TMD [13]. Suryadi meninjau massa plafon dan pengganggu getaran pada *base* diukur dengan ADXL335. Respons peralihan tinjauan model lebih besar dan lebih lama *settling* pada kondisi tanpa TMD.

ECTMD kombinasi TMD dan arus eddy pada sistem massa-pegas sederhana telah diteliti sebelumnya. Variasi dilakukan pada penempatan magnet dan pelat sehingga dapat menimbulkan arus eddy. Budiarto menempatkan pelat di *base* dan magnet di massa TMD [5]. Pambayun menempatkan pelat di massa TMD dan magnet di massa utama [6]. Satrio menempatkan pelat di massa utama dan magnet di massa TMD [7]. Suudi menempatkan pelat di *base* dan magnet di massa utama dan TMD [8]. Athoillah menempatkan pelat di *base* dan magnet menempel massa utama [9]. Kesemuanya memvariasikan jarak pelat-magnet dan jenis magnet. Penurunan respons diakibatkan dekatnya pelat-magnet dan tingginya *grade* magnet.

Silinder gelinding digunakan sebagai model massa TMD oleh Prakasa [11]. Massa tersebut adalah magnet berbentuk silinder. Silinder menggelinding dalam lintasan dengan radius tertentu. Pelat ditaruh berjarak pada sisi lintasan gerak silinder. *Grade* magnet semakin tinggi dan pelat semakin dekat dengan magnet menyebabkan amplitudo respons model bangunan semakin kecil.

ECPPTMD kombinasi *pendulum pounding* dan arus eddy di TMD model bangunan diteliti oleh Zarkacy [12]. Magnet sebagai massa pendulum. Pelat dibuat horizontal dan bercelah sehingga pendulum dapat bergerak di selanya. Respons model semakin besar dengan pendulum yang semakin panjang dan celah pelat yang semakin besar.

Penelitian ECPPTMD sebelumnya belum meneliti pengaruh posisi pelat dan *grade* magnet. Posisi pelat horizontal divariasikan naik-turun relatif terhadap bidang engsel pangkal pendulum. Demikian juga *grade* magnet divariasikan. Respons kondisi tanpa dan dengan ECPPTMD juga dibandingkan.

METODE

Peralatan uji menggunakan penggetar, model bangunan, ECPPTMD, dan akselerometer. Model bangunan terbuat dari model plafon dan tiang. Model plafon terbuat dari kayu dan menjadi tinjauan getaran. Model tiang menggunakan batang berbahan akrilik. Model tiang bermassa 28.5 g, ukuran panjang 360 mm, ukuran lebar 35.6 mm, dan ukuran tebal 2 mm. Massa model plafon 1.0439 kg. Pengganggu pada penggetar di bawah model bangunan. Getaran timbul dengan *scotch yoke*. Alat ukur getaran menggunakan ADXL335, dan *oscilloscope* HANTEK DSO2D10. Akselerometer yang sama juga diterapkan pada penelitian sebelumnya [5], [6], [7], [8], [9].



Gambar 1. Setup pengujian model bangunan dengan ECPPTMD.

Berikut parameter sistem yang digunakan.

Tabel 1. Parameter sistem.

No.	Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
1	Modulus elastisitas tiang (bahan akrilik)	E_{acr}	2.76	GPa
2	Massa utama	m_u	1.0439	kg
3	Lebar tiang	w_{acr}	35.6	mm
4	Panjang tiang	L_{acr}	360	mm
5	Tebal tiang	t_{acr}	2	mm
6	Grade magnet		N52	
7	Diameter magnet	d_{mag}	20	mm
8	Panjang magnet	L_{mag}	150	mm
9	Massa magnet	m_{mag}	100	gram
10	Periode eksitasi	τ_{exc}	800	ms
11	Amplitudo akselerasi eksitasi	a_y	1.7319	G

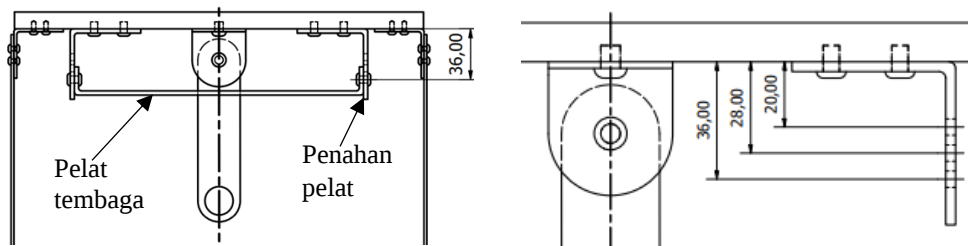
Berikut variasi yang digunakan.

Tabel 2. Variasi *grade* magnet.

Variasi	Grade Magnet	Posisi Pelat (mm)
1	N35	28
2	N42	28
3	N52	28

Tabel 3. Variasi posisi pelat.

Variasi	Grade Magnet	Posisi Pelat (mm)
1	N42	20
2	N42	28
3	N42	36



Gambar 2. Posisi pelat tembaga dan variasinya.

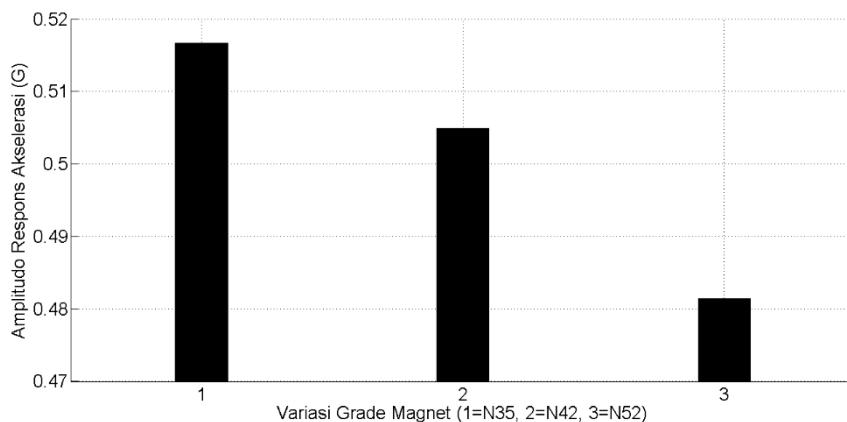
Kondisi respons ditinjau dari hasil olahan amplitudo dan RMS (*root mean square*) pengukuran. Kedua hasil tersebut yang semakin kecil berarti respons semakin kecil pada kondisi tunak. Sesuai dengan spesifikasi, akselerometer dapat ukur akselerasi hingga 3 G. Tegangan maksimal sebesar 1.022 V. Oleh karena itu, 1.022 V ini setara dengan 3 G. Hasil olahan data dalam kondisi ada dan tidak ada ECPPTMD dibandingkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

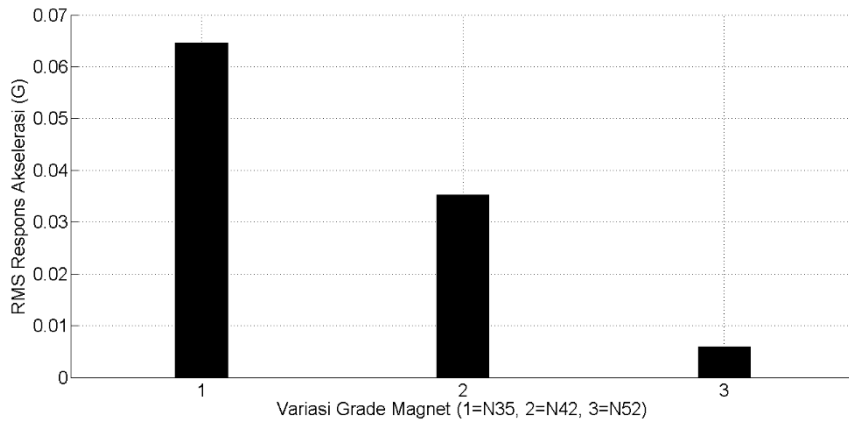
Hasil eksperimen menunjukkan *grade* magnet yang semakin tinggi menyebabkan respons kondisi tunak semakin rendah. Hal ini dilihat dari amplitudo dan RMS yang semakin rendah. Magnet dengan *grade* lebih tinggi menimbulkan kuat medan magnet yang lebih tinggi pula, sehingga arus eddy dan peredamannya juga semakin besar. Berikut ini tabel dan grafik hasil eksperimen tersebut.

Tabel 4. Respons kondisi tunak variasi *grade* magnet.

Grade Magnet	Amplitudo (G)	RMS (G)
N35	0.516634051	0.064579256
N42	0.504892368	0.035225049
N52	0.481409002	0.005870841



Gambar 3. Amplitudo respons tunak variasi magnet.

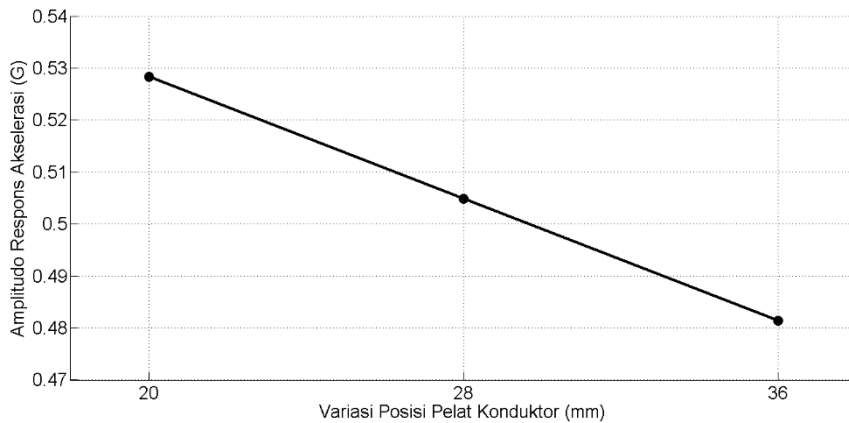


Gambar 4. RMS respons tunak variasi magnet.

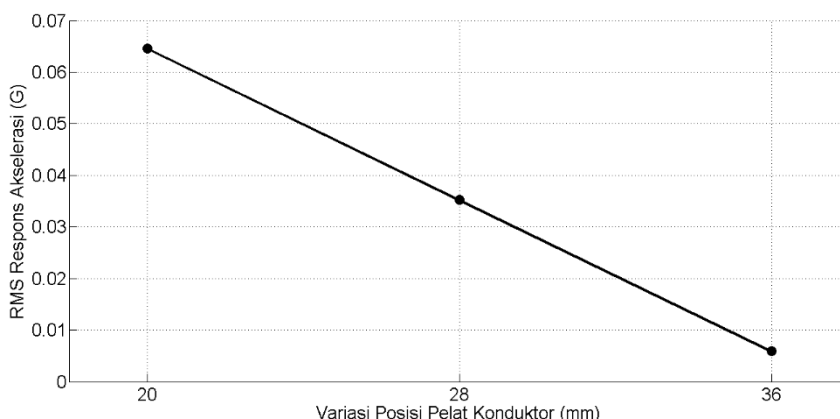
Pengaruh posisi pelat menunjukkan posisi pelat yang semakin turun atau nilai ukur posisi semakin besar maka respons semakin turun. Posisi pelat semakin turun berarti posisi pelat semakin dekat dengan magnet. Efek *pounding* dan timbulnya arus eddy menjadi lebih tinggi. Berikut ini tabel dan grafik hasil eksperimen tersebut.

Tabel 5. Respons kondisi tunak variasi posisi pelat.

Posisi pelat (mm)	Amplitudo (G)	RMS (G)
20	0.528375734	0.064579256
28	0.504892368	0.035225049
36	0.481409002	0.005870841



Gambar 5. Amplitudo respons tunak variasi posisi pelat.



Gambar 6. RMS respons tunak variasi posisi pelat.

Respons kondisi tunak dengan ECPPTMD lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa ECPPTMD. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [12]. Selain itu, penurunan respons dengan penambahan TMD juga sejalan dengan penelitian TMD sebelumnya [1], [2], [3], [4]. Tabel berikut menunjukkan penurunan respons akibat ECPPTMD penelitian ini.

Tabel 6. Respons kondisi tunak variasi posisi pelat.

Kondisi	Amplitudo (G)	RMS (G)
Tidak ada ECPPTMD	0.86888454	0.093933464
Ada ECPPTMD (respons maksimal)	0.528375734	0.064579256

Penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan studi pada domain frekuensi. Karakteristik getaran sistem getaran dapat diketahui. Selain itu, dapat mengubah penempatan pelat bidang paralel dengan gerak pendulum.

KESIMPULAN

Model bangunan diberi TMD pendulum dan arus eddy. Penempatan pelat sedemikian sehingga juga dapat menimbulkan efek *pounding* pada pendulum. Variasi pada *grade* magnet dan posisi pelat. Penambahan ECPPTMD menurunkan respons model bangunan. Respons semakin rendah pada magnet dengan kondisi *grade* yang semakin tinggi, dan posisi pelat yang semakin rendah. Studi lanjut mengenai karakteristik getaran sistem model bangunan dengan peredam jenis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.
- [2] R. Ramadhan and A. Noerpamoengkas, "Pemodelan dan Analisis Pengaruh Jarak Dan Massa DVA Terhadap Respon Getaran Massa Utama Dengan Triple-DVA Tersusun Seri," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, Oct. 2021, pp. 478–484.
- [3] 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.
- [4] M. Rizal and A. Noerpamoengkas, “Pemodelan dan Analisis Pengaruh Perbandingan Jarak dan Massa DVA Terhadap Respon Massa Utama dengan Triple-DVA Tersusun Secara Paralel,” *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2022.
 - [5] 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.
 - [6] 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.
 - [7] 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.
 - [8] M. Suudi and A. Noerpamoengkas, “Studi Eksperimental Getaran Kondisi Tunak Sistem Dengan Dua Redaman Arus Eddy (Konduktor Grounded) dan DVA Akibat Variasi Magnet dan Jarak Konduktor-Magnet,” *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.
 - [9] M. J. S. Athoillah, A. Noerpamoengkas, and A. Y. Ismail, “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),” *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.
 - [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] F. R. M. Prakasa, R. Azhimi, F. F. Ishari, and A. Noerpamoengkas, “Studi Eksperimental Respons Model Bangunan Kondisi Tunak Berperedam Eddy Current Roller Tuned Mass Damper dengan Variasi Grade Magnet dan Jarak Pelat Tembaga-Magnet,” *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, vol. 4, Mar. 2024.
 - [12] 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, Mar. 2023.
 - [13] 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.
 - [14] 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.
 - [15] 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.
 - [16] 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.

- [17] 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.
- [18] 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.
- [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.