

KARAKTERISTIK GETARAN GENERATOR PADA KASUS UNBALANCE BERDASARKAN DATA VIBROPORT DAN MEMS AKSELEROMETER ADXL345

Rio Farhan¹, Lalito Prayoga¹, Angga Sateria¹, Muhamad Riva'i¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Corresponding Author : farhanuye263@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik getaran pada generator 3 kW akibat ketidakseimbangan (unbalance) serta membandingkan kinerja alat ukur Vibroport 80 dengan sensor MEMS akselerometer ADXL345 berbasis ESP32. Unbalance dikondisikan dengan penambahan massa 10 gram, 15 gram, dan 20 gram pada kipas generator pada putaran ± 1.491 RPM (24,8 Hz). Data getaran radial diolah menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk memperoleh spektrum frekuensi dan nilai velocity RMS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi unbalance dicirikan oleh amplitudo dominan pada frekuensi $1 \times \text{RPM}$ (24,8–25,0 Hz) yang meningkat seiring penambahan massa, yaitu 1,89 mm/s, 2,11 mm/s, dan 2,81 mm/s (Vibroport). Perbandingan kedua alat menunjukkan kesesuaian frekuensi dominan yang baik dengan selisih 0–0,59 Hz, meskipun nilai amplitudo ADXL345 cenderung lebih rendah dengan selisih rata-rata 0,20–0,66 mm/s. Dengan demikian, sensor ADXL345 berpotensi digunakan sebagai alat pemantauan getaran berbiaya rendah untuk mendeteksi tren frekuensi dominan akibat unbalance, namun masih memerlukan kalibrasi lebih lanjut untuk akurasi amplitudo absolut.

Kata kunci: ADXL345; FFT; getaran; unbalance; Vibroport

ABSTRACT

This study aims to analyze the vibration characteristics of a 3 kW generator due to unbalance and to compare the performance of the Vibroport 80 vibration meter with the ESP32-based MEMS ADXL345 accelerometer sensor. Unbalance conditions were created by adding 10 g, 15 g, and 20 g of mass to the generator fan at a rotational speed of $\pm 1,491$ RPM (24.8 Hz). Radial vibration data were processed using the Fast Fourier Transform (FFT) method to obtain frequency spectra and velocity RMS values. The results show that unbalance is characterized by dominant amplitude at the $1 \times \text{RPM}$ frequency (24.8–25.0 Hz), which increases proportionally with added mass, reaching 1.89 mm/s, 2.11 mm/s, and 2.81 mm/s (Vibroport). Comparison between the two instruments shows good agreement in dominant frequency identification, with deviations of 0–0.59 Hz, although ADXL345 amplitude values tend to be slightly lower, with average deviations of 0.20–0.66 mm/s. Therefore, the ADXL345 sensor has potential as a low-cost vibration monitoring tool for detecting dominant frequency trends caused by unbalance, although further calibration is required for absolute amplitude accuracy.

Keywords: ADXL345; FFT; unbalance; Vibroport; vibration

1. PENDAHULUAN

Generator sebagai mesin berputar tidak terlepas dari permasalahan getaran, yang seringkali menjadi indikator awal gangguan pada sistem. Getaran berlebih dapat menurunkan performa, meningkatkan keausan komponen, dan memperpendek umur pakai mesin (Tiboni et al., 2022). Salah satu gangguan mekanis yang umum terjadi pada generator adalah unbalance, yaitu kondisi ketika pusat massa rotor tidak berimpit dengan sumbu rotasinya sehingga menimbulkan gaya sentrifugal yang tidak merata saat rotor berputar (Chen dan Jia, 2000). Penelitian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan massa rotor dapat dieksitasi oleh berbagai faktor dan menghasilkan karakteristik getaran yang khas pada frekuensi putaran dasar (1x running speed) (Guo et al., 2002). Kondisi ini menghasilkan karakteristik getaran tertentu yang penting untuk dikenali sebagai dasar diagnosis dini kerusakan mesin, karena unbalance yang tidak terdeteksi dapat menyebabkan kerusakan katastrofik yang biayanya seringkali melebihi biaya penggantian komponen (Matania et al., 2024).

Analisis getaran berbasis spektrum frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) telah menjadi pendekatan utama dalam mendiagnosis kondisi mesin berputar (Bao et al., 2024). Dalam konteks generator, karakteristik unbalance dapat diidentifikasi dari kemunculan amplitudo dominan pada frekuensi 1x running speed dalam spektrum getaran (Ilham, 2021). Selain unbalance, gangguan mekanis lain seperti misalignment dan mechanical looseness juga menunjukkan pola spektral yang khas, sehingga pemahaman terhadap berbagai pola getaran sangat krusial untuk diagnosis yang akurat (Faisal, Sateria, dan Hasdiansah, 2022). Meskipun demikian, tantangan dalam implementasi sistem pemantauan getaran yang efektif dan ekonomis masih menjadi perhatian, terutama terkait dengan keterbatasan akses dan biaya peralatan konvensional yang relatif mahal (Adli, 2020). Pengembangan teknologi sensor Micro Electro Mechanical System (MEMS) seperti akselerometer ADXL345 menawarkan alternatif yang lebih terjangkau dengan kemampuan deteksi tiga sumbu dan integrasi sistem tertanam yang memungkinkan akuisisi data digital secara langsung (Feriadi, Aswin dan Nugraha, 2017).

Penelitian ini menganalisis karakteristik getaran pada generator akibat unbalance menggunakan data Vibroport dan sensor akselerometer MEMS ADXL345. Data getaran diolah dalam domain frekuensi untuk mengidentifikasi ciri khas getaran pada setiap variasi massa unbalance, sekaligus membandingkan hasil pengukuran kedua alat sebagai dasar penerapan condition-based maintenance. Pendekatan ini sejalan dengan upaya pengembangan metode diagnosis kerusakan yang lebih efisien dan mudah diimplementasikan di lapangan (Matania et al., 2024), serta memperkaya literatur tentang analisis getaran pada generator skala kecil yang masih terbatas (Faisal, Sateria, dan Hasdiansah, 2022).

2. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi pustaka, perakitan sensor akselerometer, uji coba sistem, pengondisian ketidakseimbangan (*unbalance*), pengambilan data, dan analisis data. Pengujian getaran dilakukan pada generator 3 kW, di Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Kecepatan operasional generator berada pada ± 1.491 RPM, yang setara dengan frekuensi dasar 24,8 Hz pada 1xRPM.

2.1 Alat Ukur

Pengukuran getaran dilakukan menggunakan dua jenis alat, yaitu Vibroport 80 dan sensor akselerometer ADXL345. Vibroport 80 merupakan *vibration meter* yang mampu mengukur amplitudo, frekuensi, serta menghasilkan data spektrum getaran dengan tingkat akurasi tinggi. Sensor ADXL345 adalah sensor MEMS akselerometer digital 3-sumbu dengan konsumsi daya rendah yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengukur percepatan *linear* akibat gerakan, guncangan, atau getaran, yang kemudian diolah menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT).

2.2 Pengkondisian *Unbalance*

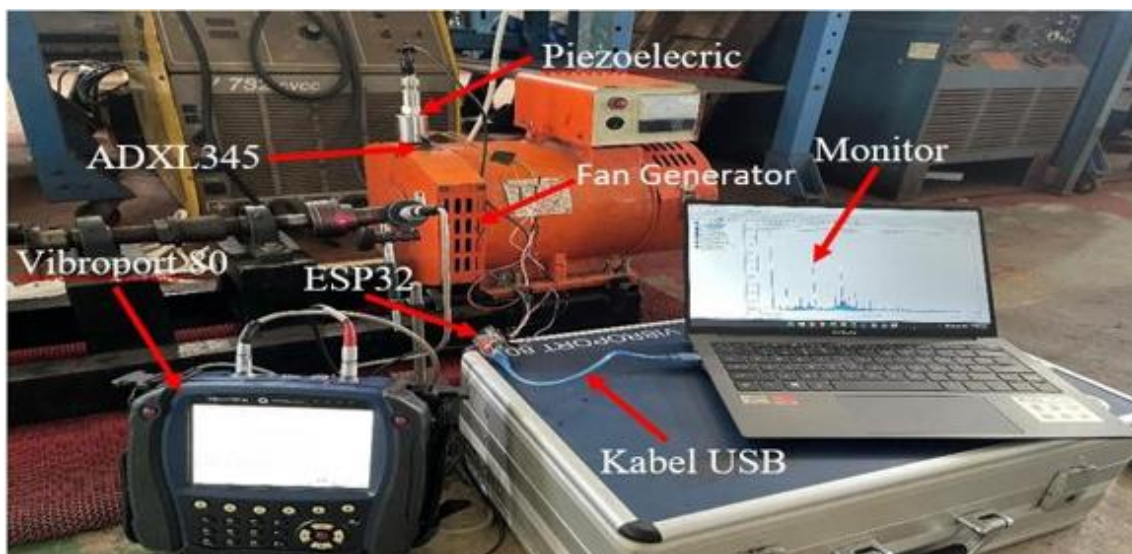
Unbalance dikondisikan pada generator dengan menambahkan massa tambahan sebesar 10 gram, 15 gram, dan 20 gram secara bertahap pada kipas (*fan*) generator. Pada setiap variasi massa, data getaran diambil menggunakan Vibroport dan sensor ADXL345 pada arah radial (tegak lurus terhadap sumbu poros) untuk melihat pengaruh besar massa *unbalance* terhadap amplitudo dan frekuensi getaran yang dihasilkan.

2.3 Parameter dan Acuan Analisis

Parameter yang diukur pada setiap kondisi pengujian adalah amplitudo getaran (*velocity*, mm/s RMS) dan frekuensi getaran (Hz). Data spektrum yang diperoleh kemudian dianalisis dalam domain frekuensi untuk mengidentifikasi puncak (*peak*) dominan pada kelipatan frekuensi putaran (1x, 2x, 3x RPM, dst.), sesuai karakteristik teoritis *unbalance* yang menunjukkan dominasi getaran pada frekuensi $1 \times \text{RPM}$.

2.4 Skema Pengambilan Data

Pengujian getaran dilakukan pada generator 3 kW dengan kecepatan ± 1491 RPM (24,8 Hz) pada arah pengukuran radial. Kondisi *unbalance* diukur secara bersamaan menggunakan Vibroport 80 sebagai alat acuan dan sensor MEMS ADXL345 berbasis ESP32. Parameter yang dianalisis meliputi amplitudo getaran (*velocity*), frekuensi dominan, dan nilai *overall* RMS, skema pengambilan data dapat di lihat pada Gambar 1.

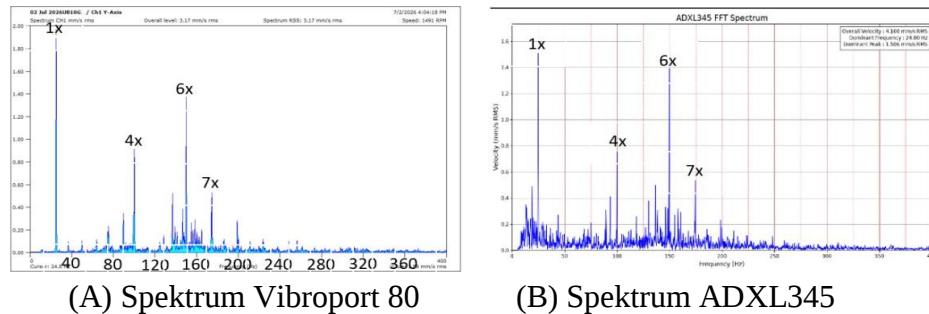


Gambar 1 Skema Pengambilan Data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Unbalance

Pengujian *unbalance* dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik getaran generator akibat penambahan massa pada kipas (*fan*) generator. Analisis difokuskan pada perubahan amplitudo getaran, frekuensi dominan, dan nilai *overall* RMS yang diperoleh dari pengukuran menggunakan Vibroport 80 dan sensor MEMS ADXL345. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi kemampuan sensor ADXL345 dalam mendeteksi karakteristik getaran pada kondisi *unbalance*. Pembahasan hasil disajikan berdasarkan variasi massa *unbalance* sebesar 10 g, 15 g, dan 20 g. Secara umum, *unbalance* pada rotor menghasilkan gaya sentrifugal yang sebanding dengan massa ketidakseimbangan dan memicu respons getaran pada frekuensi $1 \times \text{RPM}$. Identifikasi awal *unbalance* dapat dilakukan dengan mendeteksi puncak amplitudo pada frekuensi dasar tersebut. Dalam penelitian ini, kecepatan operasional generator dijaga konstan pada $\pm 1.491 \text{ RPM}$ (24,8 Hz), sehingga perubahan amplitudo semata-mata disebabkan oleh variasi massa *unbalance*. Data *Unbalance* dengan Penambahan Massa 10 Gram dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum Getaran Generator Kondisi *Unbalance* 10 Gram (A) Spektrum Vibroport 80 (B) Spektrum ADXL345

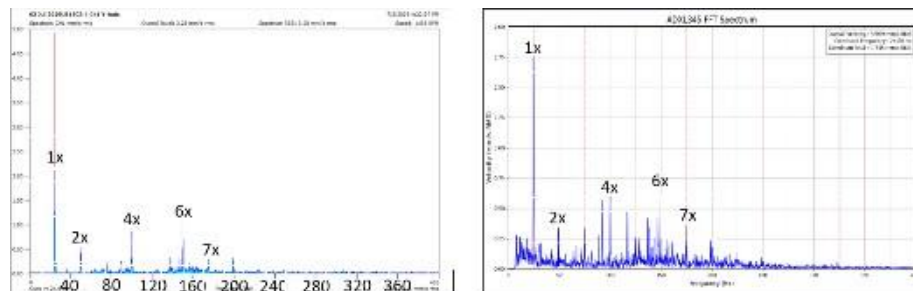
Pada kondisi *unbalance* dengan penambahan massa 10 gram, hasil pengukuran menunjukkan bahwa puncak amplitudo getaran muncul pada frekuensi dominan $1 \times \text{RPM}$, yaitu sebesar 24,8 Hz, dengan nilai amplitudo 1,89 mm/s (Vibroport) dan 1,586 mm/s (ADXL345).

Perbandingan hasil pengukuran frekuensi dan *velocity* (RMS) antara Vibroport 80 dan ADXL345 pada kondisi *unbalance* 10 gram dapat di lihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Data Getaran Vibroport 80 dan ADXL345
Kondisi *Unbalance* 10 Gram

No	Frekuensi (Hz)			Velocity mm/s (RMS)		
	Vibroport 80	ADXL345	Selisih	Vibroport 80	ADXL345	Selisih
1.	24,8	24,80	0	1,89	1,586	0,304
2.	100	100	0	0,912	0,751	0,161
3.	150	149,61	0,39	1,37	1,391	0,021
4.	175	174,41	0,59	0,528	0,533	0,005

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran frekuensi antara Vibroport 80 dan ADXL345 memiliki kesesuaian yang baik, dengan selisih kecil (0–0,59 Hz) pada seluruh titik pengukuran. Hal ini menunjukkan akurasi pembacaan frekuensi ADXL345 setara dengan Vibroport 80. Pada nilai *velocity* (RMS), selisih terbesar terjadi pada frekuensi dominan 24,8 Hz sebesar 0,304 mm/s, namun selisih ini semakin mengecil pada frekuensi yang lebih tinggi (0,161 mm/s pada 100 Hz, 0,021 mm/s pada 150 Hz, dan 0,005 mm/s pada 175 Hz). Hal ini menunjukkan ADXL345 memiliki akurasi yang cukup baik pada amplitudo rendah, namun sedikit kurang presisi pada amplitudo tinggi. Secara keseluruhan, ADXL345 dapat digunakan sebagai sensor alternatif untuk mendeteksi kondisi *unbalance*. Data *Unbalance* dengan Penambahan Massa 15 Gram dapat di lihat pada Gambar 3.



(A) Spektrum Vibroport 80 (B) Spektrum ADXL345 Gambar 3 Spektrum Getaran Generator Kondisi *Unbalance* 15 Gram (A) Spektrum Vibroport 80 (B) Spektrum ADXL345

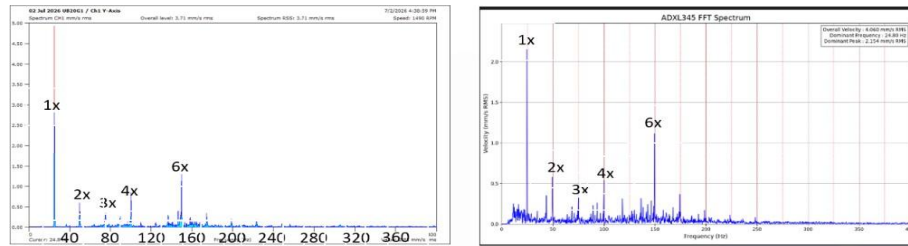
Pada kondisi *unbalance* dengan penambahan massa 15 gram, hasil pengukuran memperlihatkan bahwa puncak amplitudo getaran tetap terjadi pada frekuensi dominan 1×RPM, yaitu sebesar 25,0 Hz, dengan nilai amplitudo 2,11 mm/s (Vibroport) dan 1,745 mm/s (ADXL345). Perbandingan hasil pengukuran frekuensi dan *velocity* (RMS) antara Vibroport 80 dan ADXL345 pada kondisi *unbalance* 15 gram dapat di lihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Data Getaran Vibroport 80 dan ADXL345 Kondisi *Unbalance* 15 Gram

No	Frekuensi (Hz)			Velocity mm/s (RMS)		
	Vibroport 80	ADXL345	Selisih	Vibroport 80	ADXL345	Selisih
1.	25	24,80	0,2	2,11	1,745	0,365
2.	49,8	49,80	0	0,542	0,341	0,201
3.	100	100,20	0,2	0,934	0,601	0,333
4.	150	149,80	0,2	1,07	0,649	0,421
5.	175	174,80	0,2	0,291	0,360	0,069

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil pengukuran frekuensi antara Vibroport 80 dan ADXL345 pada kondisi *unbalance* 15 gram memiliki kesesuaian yang baik, dengan selisih kecil dan konsisten (0–0,2 Hz) pada seluruh titik pengukuran. Pada nilai *velocity* (RMS), selisih tertinggi terjadi pada frekuensi dominan 25 Hz (0,365 mm/s) dan pada 150 Hz (0,421 mm/s), sedangkan selisih terkecil terjadi pada 175 Hz (0,069 mm/s). Hal ini mengindikasikan bahwa pada penambahan massa yang lebih besar, sensitivitas ADXL345 sedikit berkurang dibandingkan Vibroport 80 terutama pada amplitudo yang lebih tinggi, namun ADXL345 tetap menunjukkan pola pembacaan yang konsisten dan

dapat digunakan sebagai sensor alternatif untuk mendeteksi kondisi *unbalance*. Data *Unbalance* dengan Penambahan Massa 20 Gram dapat di lihat pada Gambar 4.



(A) Spektrum Vibroport 80 (B) Spektrum ADXL345
Gambar 4. Spektrum Getaran Generator Kondisi *Unbalance* 20 Gram (A) Spektrum Vibroport 80 (B) Spektrum ADXL345

Pada kondisi *unbalance* dengan penambahan massa 20 gram, hasil pengukuran menunjukkan bahwa puncak amplitudo getaran terletak pada frekuensi dominan 1×RPM, yaitu sebesar 24,8 Hz, dengan nilai amplitudo 2,81 mm/s (Vibroport) dan 2,154 mm/s (ADXL345). Perbandingan hasil pengukuran frekuensi dan *velocity* (RMS) antara Vibroport 80 dan ADXL345 pada kondisi *unbalance* 20 gram dapat di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Data Getaran Vibroport 80 dan ADXL345 Kondisi *Unbalance* 20 Gram

No	Frekuensi (Hz)			Velocity mm/s (RMS)		
	Vibroport 80	ADXL345	Selisih	Vibroport 80	ADXL345	Selisih
1.	24,8	24,80	0	2,81	2,154	0,656
2.	49,8	49,61	0,19	0,584	0,579	0,005
3.	75,3	75,20	0,1	0,333	0,322	0,011
4.	100	100	0	0,845	0,538	0,307
5.	150	149,61	0,39	1,29	1,114	0,176

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran frekuensi antara Vibroport 80 dan ADXL345 pada kondisi *unbalance* 20 gram tetap memiliki kesesuaian yang baik, dengan selisih kecil dan konsisten (0–0,39 Hz) pada seluruh titik pengukuran, sementara pada nilai *velocity* (RMS) selisih antara kedua sensor semakin terlihat jelas terutama pada frekuensi dominan 24,8 Hz yang mencapai 0,656 mm/s (2,81 mm/s Vibroport 80 dan 2,154 mm/s ADXL345), yang merupakan selisih tertinggi di antara ketiga kondisi massa yang telah diuji yaitu sebesar 0,656 mm/s, sedangkan selisih terendah terjadi pada frekuensi 49,8 Hz (0,005 mm/s), yang mengindikasikan bahwa semakin besar massa *unbalance* yang ditambahkan, semakin besar pula deviasi pembacaan ADXL345 terhadap Vibroport 80 pada amplitudo tinggi, meskipun pola pembacaan frekuensi dan tren getarannya tetap konsisten sehingga ADXL345 masih dapat digunakan sebagai sensor alternatif untuk mendeteksi kondisi *unbalance*.

Jika ketiga kondisi *unbalance* dibandingkan (10 gram, 15 gram, dan 20 gram), diperoleh tren amplitudo 1×RPM yang meningkat secara konsisten, yaitu 1,89 mm/s, 2,11 mm/s, dan 2,81 mm/s (Vibroport), serta 1,586 mm/s, 1,745 mm/s, dan 2,154 mm/s (ADXL345). Tren kenaikan ini sesuai dengan karakteristik teoritis *unbalance*, yaitu amplitudo getaran berbanding lurus dengan besarnya massa ketidakseimbangan yang

menghasilkan gaya sentrifugal. Perbandingan kedua alat menunjukkan kesesuaian frekuensi yang sangat baik (selisih 0-0,59 Hz), sedangkan nilai amplitudo ADXL345 secara umum sedikit lebih rendah dibanding Vibroport yang disebabkan oleh perbedaan sensitivitas sensor, karakteristik *frequency response* MEMS *accelerometer*, serta metode kalibrasi yang berbeda antara kedua alat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis sinyal getaran pada generator 3 KW, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik spektrum getaran pada kondisi *unbalance* ditandai dengan amplitudo dominan pada frekuensi $1\times\text{RPM}$ (24,8-25,0 Hz) yang meningkat secara proporsional seiring bertambahnya massa ketidakseimbangan, yaitu sebesar 1,89 mm/s, 2,11 mm/s, dan 2,81 mm/s (Vibroport) untuk penambahan massa 10 gram, 15 gram, dan 20 gram, sesuai dengan karakteristik teoritis *unbalance* di mana gaya sentrifugal berbanding lurus dengan besarnya massa tidak seimbang.
2. Perbandingan hasil pengukuran antara Vibroport 80 dan sensor MEMS ADXL345 pada kondisi *unbalance* menunjukkan kesesuaian yang baik dalam mengidentifikasi frekuensi dominan, dengan selisih berkisar antara 0–0,59 Hz. Namun, pada nilai amplitudo getaran (*velocity*), ADXL345 cenderung menghasilkan nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan Vibroport, dengan selisih rata-rata sebesar 0,20-0,66 mm/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ADXL345 berpotensi digunakan sebagai alat pemantauan getaran berbiaya rendah untuk mendeteksi tren frekuensi dominan akibat *unbalance*, meskipun akurasi pengukuran amplitudo absolutnya masih memerlukan kalibrasi lebih lanjut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan karya ilmiah ini, yaitu kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan, kepada Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T. dan Bapak Muhamad Riva'i, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan pengetahuan, pengalaman, masukan, serta pengarahannya hingga penulisan dan penyusunan karya ilmiah ini selesai. Serta teman-teman seperjuangan, sahabat, dan keluarga mesin yang telah memberikan bantuan, semangat, tenaga, pikiran, usaha, dan pengetahuannya dalam proses penyelesaian karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adli, E., 2020. *Analisis getaran pada mesin berputar menggunakan sensor MEMS berbasis IoT*. Jurnal Teknik Mesin, 8(2), pp. 45–52.
- Bao, H., Zhang, Y., Liu, Z. and Wang, X., 2024. *Fast Fourier Transform-based vibration analysis for rotating machinery diagnosis*. Mechanical Systems and Signal Processing, 208, p. 111045.
- Chen, Y. and Jia, S., 2000. *Rotor unbalance and its effect on vibration characteristics*. Journal of Sound and Vibration, 231(3), pp. 567–578.
- Faisal, M., Sateria, A. and Hasdiansah, H., 2022. Analisis sinyal getaran pada generator 3 kW dengan kasus misalignment dan mechanical looseness.

- In: *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 485–488, September 2022.
- Feriadi, D., Aswin, A. and Nugraha, H., 2017. *Aplikasi akselerometer ADXL345 untuk pengukuran getaran tiga sumbu berbasis mikrokontroler*. *Jurnal Rekayasa Elektronika*, 14(1), pp. 22–29.
- Guo, D., Chu, F. and Chen, Z., 2002. *Vibration characteristics of rotor unbalance under varying operating conditions*. *Journal of Vibration Engineering*, 15(4), pp. 412–418.
- Ilham, M., 2021. *Identifikasi ketidakseimbangan rotor berdasarkan spektrum getaran 1x running speed*. *Jurnal Pemeliharaan Mesin*, 9(3), pp. 78–84.
- Matania, O., Ben-David, Y. and Klein, R., 2024. *Cost-effective condition-based maintenance using vibration analysis*. *Applied Mechanical Engineering*, 45(1), pp. 112–125.
- Tiboni, M., Remino, C. and Bussola, R., 2022. *Vibration monitoring for rotating machinery: a review of methods and applications*. *Machines*, 10(5), p. 345.