

Analisis Tingkat Vibrasi pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) Berdasarkan ISO 10816-3 Menggunakan FFT Spectrum Analysis di PLTP Patuha

Muhammad Ikbal Kamarullah, Andi Ulfiana^{1*}, dan Pribadi Mumpuni Adhi²

¹Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Pascasarjana, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425.

*Corresponding author E-mail address: andi.ulfiana@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP) merupakan peralatan vital dalam sistem pendingin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang berperan menjaga kestabilan temperatur dan keandalan operasi pembangkit. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat vibrasi ACWP berdasarkan standar ISO 10816-3 serta mengidentifikasi sumber gangguan menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Pengukuran dilakukan menggunakan SKF Microlog Analyzer GX pada titik Drive End (DE) dan Non Drive End (NDE) dengan arah horizontal, vertikal, dan aksial. Hasil pengukuran menunjukkan nilai vibrasi tertinggi sebesar 5,028 mm/s pada Pump DE arah vertikal yang termasuk Zona C. Analisis FFT mengidentifikasi frekuensi dominan 149 Hz ($6 \times$ RPM) yang menunjukkan adanya misalignment dan mechanical looseness. Setelah dilakukan shaft alignment, inspeksi coupling, dan pengencangan baut pondasi, nilai vibrasi menurun menjadi 3,405 mm/s atau 32,28%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi ISO 10816-3 dan FFT efektif mendukung diagnosis gangguan mekanis serta penerapan predictive maintenance untuk meningkatkan keandalan ACWP di PLTP.

Kata-kata kunci: Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP), ISO 10816-3, Fast Fourier Transform (FFT), analisis vibrasi, predictive maintenance.

Abstract

The Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP) is a critical component of the cooling system in a Geothermal Power Plant (GPP), responsible for maintaining stable operating temperatures and ensuring reliable plant operation. This study aims to evaluate the vibration level of the ACWP based on the ISO 10816-3 standard and identify the source of vibration using Fast Fourier Transform (FFT) analysis. Vibration measurements were performed using an SKF Microlog Analyzer GX at the Drive End (DE) and Non-Drive End (NDE) in the horizontal, vertical, and axial directions. The highest vibration velocity of 5.028 mm/s was recorded at the Pump DE in the vertical direction, corresponding to Zone C. FFT analysis identified a dominant frequency of 149 Hz ($6 \times$ RPM), indicating shaft misalignment and mechanical looseness. After shaft alignment, coupling inspection, and foundation bolt tightening, the vibration level decreased to 3.405 mm/s (32.28%). The results demonstrate that the combined application of ISO 10816-3 and FFT effectively supports mechanical fault diagnosis and the implementation of predictive maintenance to improve ACWP reliability in geothermal power plants.

plants. Keywords: Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP), ISO 10816-3, Fast Fourier Transform (FFT), vibration analysis, predictive maintenance.

1. PENDAHULUAN

Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP) merupakan salah satu peralatan penting dalam sistem pendingin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang berfungsi mensirkulasikan air pendingin ke berbagai peralatan pendukung agar temperatur operasi tetap berada pada batas yang diizinkan. Keandalan ACWP sangat berpengaruh terhadap kontinuitas proses pembangkitan listrik karena gangguan pada pompa dapat menurunkan efektivitas sistem pendingin, mengurangi efisiensi pembangkit, serta meningkatkan risiko unplanned downtime yang berdampak pada kerugian operasional [1].

Sebagai salah satu rotating equipment, ACWP beroperasi secara kontinu pada kondisi kerja yang relatif berat sehingga rentan mengalami gangguan mekanis. Salah satu indikator utama yang menunjukkan penurunan kondisi mesin adalah meningkatnya tingkat vibrasi. Vibrasi merupakan gerakan osilasi yang terjadi akibat gaya dinamis selama mesin beroperasi [2]. Pada mesin berputar, vibrasi yang melebihi batas normal dapat mempercepat keausan komponen, menurunkan efisiensi kerja, memperpendek umur pakai peralatan, bahkan menyebabkan kegagalan operasi apabila tidak segera ditangani [3].

Peningkatan vibrasi dapat disebabkan oleh berbagai gangguan mekanis, seperti unbalance, misalignment, mechanical looseness, kerusakan bearing, maupun kavitasi pada pompa [4]. Masing-masing gangguan menghasilkan karakteristik frekuensi yang berbeda sehingga diperlukan metode analisis yang mampu mengidentifikasi sumber gangguan secara akurat [5]. Penelitian Putra dkk. menunjukkan bahwa kondisi misalignment pada sistem motor–pompa dapat diidentifikasi melalui karakteristik sinyal vibrasi yang muncul pada spektrum frekuensi, sehingga analisis vibrasi menjadi metode yang efektif dalam mendeteksi gangguan mekanis sejak dini [6]. Oleh karena itu, pemantauan kondisi mesin melalui analisis vibrasi telah banyak diterapkan dalam program condition monitoring dan *predictive maintenance* untuk mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis vibrasi adalah *Fast Fourier Transform* (FFT). Metode ini mengubah sinyal vibrasi dari domain waktu menjadi domain frekuensi sehingga frekuensi dominan yang berkaitan dengan jenis gangguan mekanis dapat diidentifikasi secara lebih akurat [7]. Selain itu, tingkat keparahan vibrasi dapat dievaluasi menggunakan standar ISO 10816-3 yang mengklasifikasikan kondisi mesin berdasarkan nilai kecepatan getaran (*velocity RMS*) ke dalam beberapa zona kondisi operasi. Kombinasi analisis FFT dan ISO 10816-3 memungkinkan proses diagnosis dilakukan secara lebih komprehensif karena tidak hanya menunjukkan tingkat keparahan vibrasi, tetapi juga membantu mengidentifikasi penyebab utama gangguan mekanis [8].

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan analisis FFT maupun standar ISO 10816-3 untuk mendeteksi gangguan pada pompa sentrifugal. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada identifikasi kondisi vibrasi tanpa mengevaluasi efektivitas tindakan korektif berdasarkan hasil diagnosis. Selain itu, kajian mengenai penerapan kedua metode tersebut pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) di lingkungan PLTP masih relatif terbatas [9]. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian mengenai evaluasi perubahan tingkat vibrasi setelah tindakan perbaikan sebagai indikator keberhasilan diagnosis dan penerapan *predictive maintenance*.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat vibrasi ACWP menggunakan standar ISO 10816-3 dan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), mengidentifikasi sumber gangguan mekanis berdasarkan spektrum frekuensi, serta mengevaluasi perubahan tingkat vibrasi setelah dilakukan tindakan korektif berupa shaft alignment, inspeksi coupling, dan pengencangan baut pondasi. Kontribusi penelitian ini terletak pada evaluasi efektivitas tindakan korektif berdasarkan hasil diagnosis vibrasi pada ACWP di PLTP sehingga dapat menjadi dasar dalam penerapan *predictive maintenance* untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan kontinuitas operasi sistem pendingin PLTP [10].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif untuk menganalisis tingkat vibrasi pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) di PLTP Patuha. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan berupa meningkatnya nilai vibrasi pada ACWP yang berpotensi menurunkan keandalan operasi serta mempercepat kerusakan komponen. Selanjutnya dilakukan studi literatur melalui kajian terhadap standar ISO 10816-3, metode *Fast Fourier Transform* (FFT), serta berbagai buku dan jurnal ilmiah yang berkaitan dengan analisis vibrasi pada mesin berputar. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori dan metode analisis yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian.

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang meliputi spesifikasi teknis ACWP, data overall vibration (*velocity RMS*), dan data spektrum frekuensi (FFT). Pengukuran vibrasi dilakukan menggunakan alat SKF Microlog Analyzer GX pada kondisi operasi normal dengan putaran pompa sebesar 1500 rpm. Parameter yang

diamati adalah kecepatan getaran (*velocity RMS*) dalam satuan mm/s pada arah horizontal, vertikal, dan aksial. Analisis dilakukan menggunakan FFT Spectrum Analysis dengan rentang frekuensi 0–500 Hz sehingga harmonik hingga lebih dari $6 \times \text{RPM}$ dapat diamati. Pengukuran dilakukan pada empat titik, yaitu *Motor Drive End* (DE), *Motor Non-Drive End* (NDE), *Pump Drive End* (DE), dan *Pump Non-Drive End* (NDE). Seluruh hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan batas evaluasi ISO 10816-3 Group 3 karena ACWP termasuk mesin berdaya lebih dari 75 kW yang dipasang pada rigid.

Data yang telah dinyatakan valid selanjutnya dianalisis menggunakan standar ISO 10816-3 untuk menentukan tingkat keparahan vibrasi berdasarkan nilai *velocity RMS*, sedangkan FFT Spectrum Analysis digunakan untuk mengidentifikasi sumber gangguan mekanis melalui karakteristik frekuensi dominan yang muncul pada spektrum vibrasi. Berdasarkan hasil diagnosis tersebut dilakukan tindakan korektif berupa shaft alignment, inspeksi coupling, dan pengencangan baut pondasi. Setelah perbaikan selesai dilakukan, pengukuran vibrasi diulang pada titik yang sama untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah perbaikan. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas tindakan korektif dalam menurunkan tingkat vibrasi serta meningkatkan keandalan operasi *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP).

Tabel 1 Spesifikasi pompa

Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP)	
Parameter	Spesifikasi
Tipe Pompa	NDF-SE-M
Kapasitas (m ³ /jam)	1380
Head (m)	33,3
Kecepatan Putar (RPM)	1500
Daya Motor (kW)	175
Ukuran Pompa	14 × 10 inch
Tahun Pembuatan	2013

Standar ISO 10816-3

ISO 10816-3 vibration standard		Machine group 4 Integral driver		Machine group 3 External driver		Machine group 2 Motors 160 mm ≤ H ≤ 315 mm		Machine group 1 Motors 315 mm ≤ H	
Velocity mm/s rms in/sec rms		Pumps > 15 kW Radial, axial, mixed flow		Medium sized machines 15 kW < P ≤ 300 kW		Large machines 300 kW < P < 50 MW			
11	0.44								
7.1	0.28								
4.5	0.18								
3.5	0.11								
2.8	0.07								
2.3	0.04								
1.4	0.03								
0.71	0.02								
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

A New machine condition
B Unlimited long-term operation allowable

C Short-term operation allowable
D Vibration causes damage

Gambar 1 Standarisasi Nilai vibrasi ISO 10816-3

ISO 10816-3 merupakan standar internasional yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keparahan vibrasi pada mesin berputar, seperti motor listrik dan pompa sentrifugal. Penilaian dilakukan berdasarkan nilai kecepatan getaran (*velocity RMS*) dalam satuan mm/s.

Berdasarkan standar tersebut, tingkat keparahan vibrasi dibagi menjadi empat zona, yaitu Zona A (0–2,3 mm/s) menunjukkan kondisi sangat baik, Zona B (2,3–4,5 mm/s) menunjukkan mesin masih layak beroperasi, Zona C (4,5–7,1 mm/s) menunjukkan kondisi kurang memuaskan dan memerlukan perbaikan, serta Zona D (>7,1 mm/s) menunjukkan kondisi tidak layak operasi karena berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada mesin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Vibrasi Hasil Pengukuran

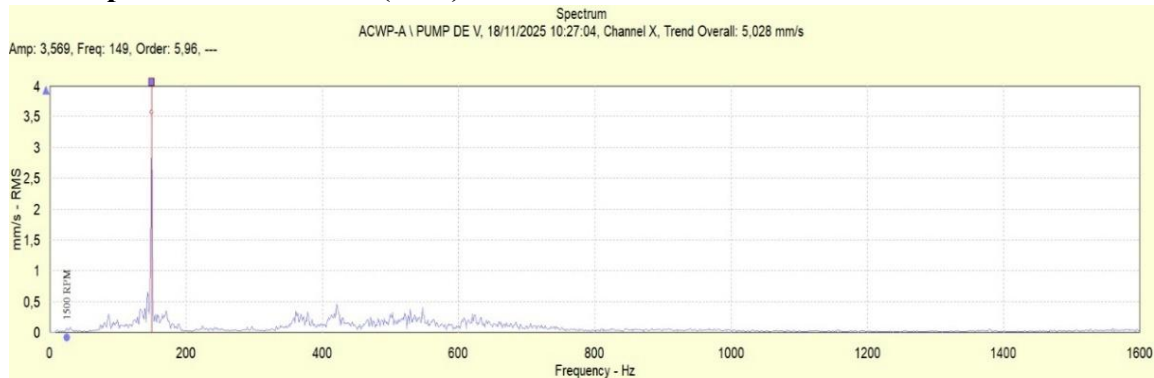
Pengukuran vibrasi pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) dilakukan pada sisi motor dan pompa, baik *Drive End* (DE) maupun *Non-Drive End* (NDE), dengan arah horizontal, vertikal, dan aksial menggunakan SKF Microlog Analyzer GX. Hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk menilai kondisi dan tingkat keparahan vibrasi pada pompa dan motor.

Tabel 2 Hasil pengukuran vibrasi sebelum perbaikan

Posisi		Arah	Nilai RMS Sebelum (mm/s)	Nilai RMS Sesudah (mm/s)	Persentase Perubahan
Motor	NDE	H	1,356	1,542	-13,72%
		V	0,602	0,765	-27,08%
		A	0,276	0,269	2,54%
	DE	H	1,449	1,282	11,53%
		V	0,532	0,518	2,63%
		A	0,282	0,262	7,09%
Pompa	NDE	H	3,033	3,461	-14,11%
		V	3,609	3,526	2,30%
		A	3,426	3,491	-1,90%
	DE	H	2,888	2,501	13,40%
		V	5,028	3,405	32,28%
		A	2,034	1,694	16,72%

Berdasarkan tabel 2 pengukuran vibrasi, nilai vibrasi pada sisi motor masih rendah dan berada pada Zona A menurut ISO 10816-3, sehingga kondisi motor masih baik untuk dioperasikan. Sebaliknya, sisi pompa menunjukkan nilai vibrasi yang lebih tinggi, dengan nilai tertinggi pada Pump DE arah vertikal sebesar 5,028 mm/s yang termasuk Zona C. Kondisi ini mengindikasikan perlunya tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Secara keseluruhan, sumber utama vibrasi berasal dari sisi pompa, khususnya pada Pump *Drive End* (DE) arah vertikal, sehingga diperlukan analisis FFT untuk mengidentifikasi penyebab vibrasi secara lebih rinci.

Analisis Spektrum Frekuensi (FFT)



Gambar 2 Spektrum vibrasi pompa DE vertikal

Pada Gambar 2 terlihat amplitudo tertinggi pada frekuensi 149 Hz ($6\times$ RPM) sebesar 3,569 mm/s. Nilai overall vibration mencapai 5,028 mm/s dan termasuk Zona C berdasarkan ISO 10816-3. Kondisi ini menunjukkan bahwa vibrasi telah melebihi batas operasi normal dan memerlukan tindakan korektif. Dominasi harmonik $6\times$ RPM mengindikasikan adanya gangguan mekanis pada sisi *Drive End* (DE) yang berpotensi berasal dari *misalignment* poros atau *mechanical looseness* [11].

Hasil Analisis Kerusakan Pompa

Berdasarkan hasil pengukuran vibrasi dan analisis FFT, nilai vibrasi tertinggi ditemukan pada Pump *Drive End* (DE) arah vertikal sebesar 5,028 mm/s yang termasuk Zona C menurut ISO 10816-3. Spektrum vibrasi menunjukkan puncak dominan pada 149 Hz ($6\times$ RPM) yang mengindikasikan adanya *misalignment* dan *mechanical looseness* pada sisi pompa. Oleh karena itu, dilakukan tindakan perbaikan berupa pengecekan, kekencangan baut pondas dan pengukuran alignment poros motor dan pompa, serta inspeksi terhadap kondisi coupling, untuk mengurangi vibrasi serta meningkatkan keandalan operasi pompa.

Visual dan perbaikan



Gambar 3 pengecekan keselarasan antara poros motor dan pompa

Pada gambar 3 dilakukan pengecekan keselarasan (*alignment*) antara poros motor dan pompa menggunakan alat ukur dial indicator. Proses ini bertujuan untuk memastikan posisi kedua poros berada pada satu garis lurus sehingga dapat mengurangi getaran, mencegah kerusakan bearing, serta meningkatkan kinerja operasi pompa.



Gambar 4 pembongkaran bagian casing atas pompa

Pada gambar 4 dilakukan pembongkaran bagian casing atas pompa untuk pemeriksaan komponen internal, seperti impeller, shaft, wear ring, dan kondisi bagian dalam casing. Pembongkaran dilakukan untuk mengetahui adanya keausan, kerusakan, korosi, ataupun endapan yang dapat mempengaruhi performa pompa.



Gambar 5 pemasangan coupling antara motor dan pompa

Pada gambar 5 dilakukan pemasangan coupling antara motor dan pompa, pengecekan kekencangan baut pondas pondasi serta proses alignment poros. Alignment dilakukan untuk memastikan posisi poros motor dan pompa berada pada satu garis lurus sehingga dapat mengurangi vibrasi, mencegah kerusakan bearing, dan meningkatkan stabilitas operasi pompa.

Pengukuran Vibrasi Setelah Perbaikan

Tabel 3 Perbandingan nilai vibrasi sebelum dan sesudah perbaikan

Posisi		Arah	Nilai RMS Sebelum (mm/s)	Nilai RMS Sesudah (mm/s)	Persentase Perubahan
Motor	NDE	H	1,356	1,542	-13,72%
		V	0,602	0,765	-27,08%
		A	0,276	0,269	2,54%

	DE	H	1,449	1,282	11,53%
		V	0,532	0,518	2,63%
		A	0,282	0,262	7,09%
Pompa	NDE	H	3,033	3,461	-14,11%
		V	3,609	3,526	2,30%
		A	3,426	3,491	-1,90%
	DE	H	2,888	2,501	13,40%
		V	5,028	3,405	32,28%
		A	2,034	1,694	16,72%

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengukuran setelah perbaikan menunjukkan penurunan nilai vibrasi pada sebagian besar titik pengukuran ACWP. Penurunan terbesar terjadi pada sisi *Pump Drive End* (DE) arah vertikal, dari 5,028 mm/s menjadi 3,405 mm/s atau turun sebesar 32,28%. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan berhasil mengurangi gangguan mekanis dan meningkatkan kestabilan operasi pompa sehingga berada dalam kondisi yang lebih aman untuk dioperasikan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tindakan *shaft alignment*, inspeksi *coupling*, dan pengencangan baut pondasi berhasil menurunkan vibrasi terbesar pada *Pump Drive End* (DE) arah vertikal dari 5,028 mm/s menjadi 3,405 mm/s (32,28%). Hasil FFT yang menunjukkan frekuensi dominan 149 Hz (6×RPM) mengindikasikan adanya misalignment dan mechanical looseness, sesuai dengan teori diagnosis vibrasi serta sejalan dengan penelitian (Putra et al., 2016) dan (Ahmadi et al., 2020). Meskipun beberapa titik, seperti Motor NDE dan Pump NDE, mengalami sedikit peningkatan vibrasi, nilainya masih berada dalam batas yang diizinkan menurut ISO 10816-3 dan diduga disebabkan oleh redistribusi gaya dinamis setelah proses *alignment*. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi ISO 10816-3 dan FFT Spectrum Analysis efektif untuk mendukung *predictive maintenance* melalui deteksi dini gangguan mekanis sehingga keandalan operasi ACWP dapat ditingkatkan.

4. KESIMPULAN

1. Nilai vibrasi tertinggi ditemukan pada *Pump Drive End* (DE) arah vertikal sebesar 5,028 mm/s yang termasuk Zona C berdasarkan ISO 10816-3, sehingga memerlukan tindakan perbaikan.
2. Hasil analisis FFT menunjukkan frekuensi dominan 149 Hz (6×RPM) yang mengindikasikan adanya misalignment poros dan mechanical looseness pada sisi pompa.
3. Perbaikan berupa *shaft alignment*, pemeriksaan *coupling*, dan pengencangan baut pondasi berhasil menurunkan nilai vibrasi, khususnya pada Pump DE arah vertikal sebesar 32,28%, sehingga meningkatkan keandalan operasi pompa.
4. Penelitian ini terbatas pada satu unit *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) dan satu kondisi operasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menerapkan online vibration monitoring serta mengombinasikan analisis Envelope Spectrum dengan FFT untuk meningkatkan akurasi deteksi dini kerusakan bearing dan mendukung penerapan *predictive maintenance*.

REFERENS

- [1]. Rezeki, P. S., Ramdhani, Y., Pratama, R. A., & Haeqal, D. M. (2024). Analisa kinerja operasional auxiliary cooling water pump terhadap vibrasi dan kavitasi di PLTP Unit 1 Patuha. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 2(2), 97–103.
- [2]. A. D. Soewono, E. R. Gunawan, and M. Darmawan, “Analisa Kerusakan Bantalan Pada Boiler Feedwater Pump,” *Cylind. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [3]. P. Busono, “Analisa Penyebab Terjadinya Vibrasi Pompa Sistem Pendingin Sekunder Pa-02 Ap001,” *Reakt. Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl.*, vol. 18, no. 1, p. 40, 2021, doi: 10.17146/bprn.2021.18.1.6276.
- [4]. Dewi, S. C. A. (2024). *Analisis penyebab kerusakan condensate transfer pump berdasarkan spectrum of vibration dan waveform peakvue di PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang PLTGU Blok 1*. Politeknik Negeri Jakarta.
- [5]. G. Z. Abidin and I. W. Sujana, “Deteksi Kerusakan Bearing Pada Condensate Pump Dengan Analisis Sinyal Vibrasi,” *Flywheel*, vol. 8, no. 1, pp. 60–67, 2017.
- [6]. D. Syifa Chaetri Andani, “Analisis Penyebab Kerusakan Condensate Transfer Pump Berdasarkan Spectrum of Vibration dan Waveform Peakvue di PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang PLTGU Blok 1,” vol. 8, no. 33, p. 44, 2024.
- [7]. Singh, T., Singh, L. B., & Hassan, N. (2025). Vibration analysis on centrifugal pump in biodiesel plant. *Journal of Renewable Energy and Mechanical Engineering*, 7(1), 1–10.
- [8]. Martianis, E., Syam, B., & Isranuri, I. (2024). Vibration monitoring of centrifugal pump systems based on ISO 10816. *E3S Web of Conferences*, 49.
- [9]. Ahmadi, H., Subchan, M., & Rachmanita, R. E. (2020). Vibration analysis of secondary cooling pump using FFT analyzer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1511(1).
- [10]. Putra, I., Taufik, A., & Saefudin, E. N. C. U. (2016). *Analisis Getaran Poros pada Motor dan Pompa yang Mengalami Misalignment Menggunakan Sinyal Vibrasi*. *Jurnal Penelitian Sinergi*, 20(2), 123–128.
- [11]. “Vibration Training-Mobius Institute.pdf.” .