

STUDI VIBRASI POROS ROTOR SATU DISC KONDISI UNBALANCE MENGGUNAKAN VIBRATION ANALYZER DAN FEM

Fatkur Rachmanu, Widodo, Mokhammad Is Subekti, Melkisedek, Dimas Wira,
Aji Wijaya

Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama, Purwakarta, Indonesia
Coressonding author: fatkur.rachman@gmail.com

Abstrak

Studi vibrasi dilakukan sebagaimana pemeliharaan prediktif maintenace pada mesin berputar. Pada penelitian ini modul poros rotor dengan 2 tumpuan bearing menggunakan 1 disc di tengah tumpuan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui metode FFT dan metode element hingga (FEM) dengan grafik FFT dan komputasi perangkat lunak FEM dimana dalam pemeliharaan prediktif mesin berputar pada kondisi disc unbalance dengan menambahkan 1 baut pada disc. Penelitian dilakukan dengan mengamati grafik FFT menggunakan vibration analyser dengan sensor yang diamati pada bearing DE dan NDE pada posisi vertikal dan horizontal sebesar 1X, untuk arah aksial nilai puncak rendah, perbedaan fase antar axis horizontal dan vertikal sebesar kurang lebih 90° ini memenuhi kondisi statik unbalance. Metode FEM dapat digunakan dalam memprediksi mode shape 1 dengan 2 simpul 1 simpangan. Peristiwa ketidakseimbangan (unbalance) rotor dengan penambahan pemberat berupa 1 baut pada disc menghasilkan satu simpangan pada mode shape 1 dapat terlihat menggunakan perangkat lunak FEA.

Kata kunci: Vibrasi, Rotor, Unbalance, Vibration Analyser, FEM

Abstract

Vibration studies are carried out as predictive maintenance on rotating machinery. In this study, the rotor shaft module with 2 bearing pedestals uses 1 disc in the center of the pedestal. This study was conducted to determine the FFT method and finite element method (FEM) with FFT graphs and FEM software computations where in predictive maintenance the engine rotates in unbalanced disc conditions by adding 1 bolt to the disc. The research was conducted by observing the FFT graph using a vibration analyzer with sensors observed in the DE and NDE bearings in the vertical and horizontal positions of 1X, for the axial direction the peak value is low, the phase difference between the horizontal and vertical axes is approximately 90° meets the static unbalance condition. The FEM method can be used in predicting mode shape 1 with 2 nodes 1 deviation. Rotor unbalance event with the addition of ballast in the form of 1 bolt on the disc produces one deviation in mode shape 1 can be seen using FEA software.

Keywords: Vibration, Rotor, Unbalance, Vibration Analyser, FEM

1. PENDAHULUAN

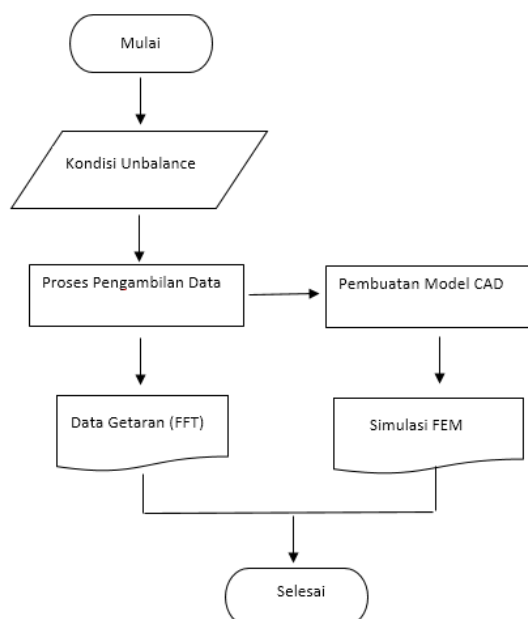
Mesin motor induksi merupakan alat yang bekerja dengan memanfaatkan arus listrik di mana arus listrik diubah menjadi energi gerakan mekanis yang berputar [1]. Ketika mesin atau motor induksi berputar maka akan timbul getaran dalam frekuensi tertentu, getaran yang terjadi dapat disebabkan oleh *unbalance*, *misalignment*, dan *mechanical looseness*. *Unbalance* yaitu suatu kondisi di mana distribusi massa pada rotor tidak merata, merupakan masalah umum pada mesin berputar [2][3]. Jika *unbalance* dibiarkan maka dapat menghasilkan gaya sentrifugal yang berlebihan dan dapat merusak poros dan komponen - komponen lain untuk mencegah kerusakan pada komponen mesin maka perlu dilakukan analisis menggunakan alat *vibration* meter atau *vibration analyzer* untuk mendapatkan grafik *fast fourrier transform (FFT)* atau analisis vibrasi (*vibration analyzer*) [4][5]. Penelitian ini secara aktual dapat digunakan secara untuk kasus pemantauan kondisi pompa sentrifugal dengan gejala *unbalance* dan lainnya [6][7]. Telah dilakukan penelitian vibrasi sebelumnya berupa poros rotor 1 disc menggunakan *LabView* [8]. Model 1 *disc* telah dilakukan berupa pengujian vibrasi rotor pada journal bearing dengan variasi putaran dan viskositas oli [9] dan simulasi FEA [10]. Studi dinamika pompa sentrifugal dengan 6 tingkat telah dilakukan dengan perangkat lunak [11]. Studi karakteristik getaran dari *overhung unbalance* pada *rotor* [12]. Penelitian sebelumnya telah dipelajari untuk memantau getaran pada modul mesin berputar satu disc menggunakan *Labview* dan FEM [13]. Kasus *unbalance* dan diperbaiki hingga normal secara aktual dan sesuai pemeliharaan prediktif pada *flue gas blower* [14]. Penggunaan FEM untuk memprediksi getaran dapat dilakukan pada mesin berputar [15]. Membandingkan dua metode cerdas secara otomatis mendeteksi *unbalance*, retakan, dan ketidaksejajaran paralel pada mesin yang berputar, menggunakan pemodelan elemen hingga [16].

2. METODE PENELITIAN

Pemeliharaan prediktif menggunakan analisis vibrasi berbasis FFT. Perumusan *Fast Fourier Transform (FFT)* [17].

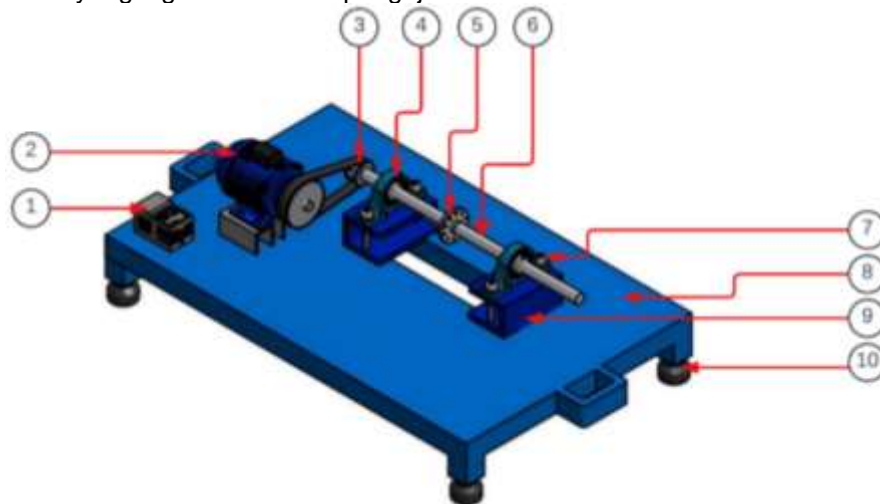
$$X[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N} \tag{1}$$

Dengan diagram alir penelitian sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan mesin getaran rotor dengan *timing pulley* dan *timing belt* sebagai alat untuk mentransmisikan putaran dari motor induksi ke poros, dengan kecepatan putaran 500 rpm, 750 rpm, hingga 1000rpm, poros dipasang *disc* atau piringan untuk menciptakan kondisi *unbalance* pengambilan data dilakukan pada posisi vertikal dan horizontal *drive end* dan *non drive end*. Tujuan dari penelitian ini dilakukan guna mengetahui perbandingan grafik FFT Ketika poros dalam kondisi *balance* dan *unbalance*, serta mengetahui pengaruh variasi kecepatan poros terhadap nilai getaran pada kondisi *unbalance*. Gambar 2 menunjukkan modul getaran mesin rotor yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 2. Modul Getaran Mesin Rotor

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Inverter 220V/50Hz | 6. Poros Stainless steel |
| 2. Motor induksi 220V/50 Hz | 7. Baut Pemegang & Shim |
| 3. Timing pulley dan belt | 8. Meja Plat steel |
| 4. Bearing UCP | 9. Dudukan |
| 5. Disc stainless steel 304 | 10. Adjuster |

Sebelum dilakukan pengujian getaran maka poros yang akan digunakan perlu dilakukan pengujian untuk memastikan poros dalam kondisi normal.

1. Persiapkan mesin rotor dengan baik dan alat ukur untuk pengujian.
2. Pengukuran kesilindrisan poros menggunakan langkah-langkah sebagai berikut ini.
 - a. Menyiapkan alat ukur , poros dan surface plate (meja perata).
 - b. Mengatur stand block dengan jarak sesuai petunjuk, pada sebelah kiri dan kanan
 - c. Memasang poros pada stand block lalu putar hingga 360° dan pengukuran kesilindrisan dapat dilihat pada Gambar 3.

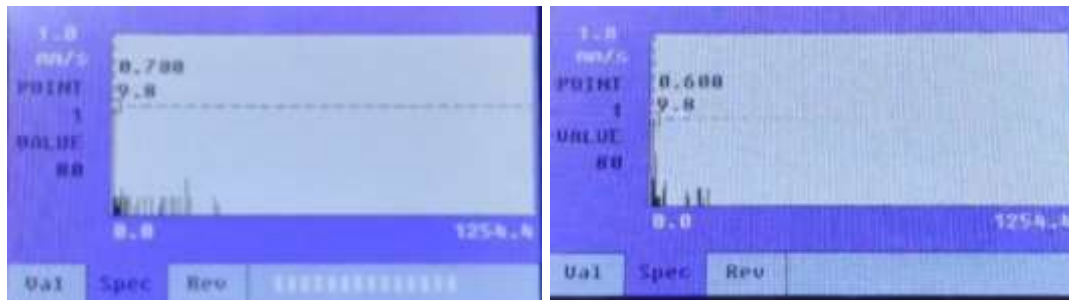


Gambar 3. Proses pengukuran kesilindrisan poros pada stand block.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan menguji getaran pada kondisi abnormal (*unbalance*) dengan kecepatan yang bervariasi menggunakan *timing pulley* dan *timing belt*. Pembahasan hasil data dilakukan dengan variasi kecepatan putaran poros 500 rpm, 750 rpm, hingga 1000 rpm yang diatur menggunakan *inverter*, dan *tachometer* untuk memastikan putaran poros sesuai dengan frekuensi *inverter*. Pengukuran pertama dilakukan pada kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 500 rpm dan frekuensi inverter 8,65 Hz, sesuai Gambar 4.

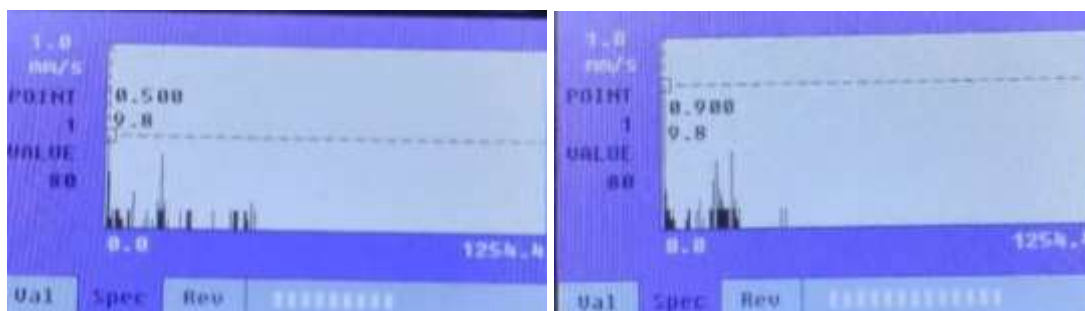
Pengujian Kondisi *Unbalance* putaran 500 rpm



Gambar 4a. VDE Unbalance 500 rpm

4b. VNDE Unbalance 500 rpm

Berdasarkan Gambar 4a dan 4b, pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 500 rpm dengan frekuensi *inverter* 8,65 Hz didapatkan hasil amplitudo vibrasi tinggi dan fluktuatif 1x rpm pada posisi radial sesuai dengan pola *unbalance* hal ini mengindikasikan adanya kondisi ketidakseimbangan. Nilai tertinggi terjadi pada posisi *vertical drive end* (VDE) dengan nilai 0,7 mm/s dan nilai 0,6 mm/s pada posisi VNDE. Dapat dilihat pada Gambar 4c dan 4d pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 500 rpm posisi *horizontal drive end* menghasilkan nilai 0,5mm/s dan nilai 0,9 mm/s pada horizontal non drive end.

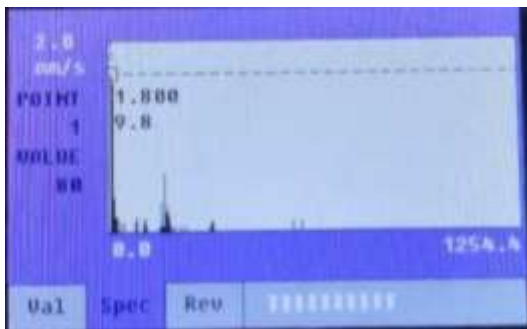


Gambar 4c. HDE Unbalance 500 rpm

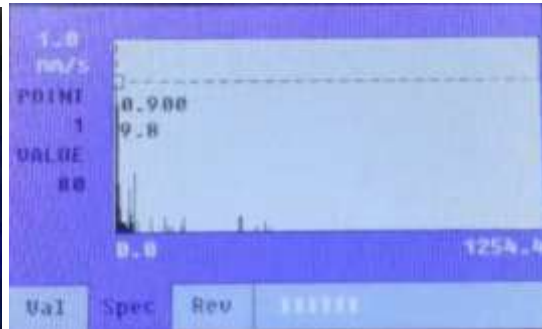
4d. HNDE Unbalance 500 rpm

Pengujian Kondisi *Unbalance* putaran 750 rpm

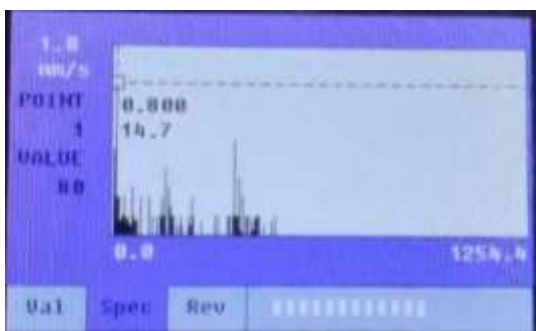
Berdasarkan Gambar 5a dan 5b, pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 750 rpm dengan frekuensi *inverter* 12,86 Hz didapatkan hasil amplitudo vibrasi tinggi dan fluktuatif 1x rpm pada posisi radial sesuai dengan pola *unbalance* hal ini mengindikasikan adanya kondisi ketidakseimbangan. Nilai tertinggi terjadi pada posisi *vertical drive end* (VDE) dengan nilai 1,8 mm/s dan nilai 0,9 mm/s pada posisi VNDE. Dapat dilihat pada Gambar 5c dan 5d pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 750 rpm posisi *horizontal drive end* menghasilkan nilai 0,8 mm/s dan nilai 1,4 mm/s pada horizontal non drive end.



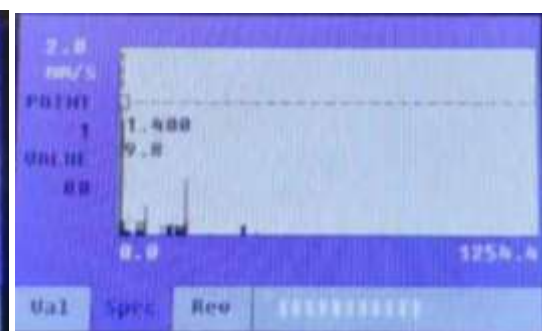
Gambar 5a. VDE Unbalance 750 rpm



5b. VNDE Unbalance 750 rpm

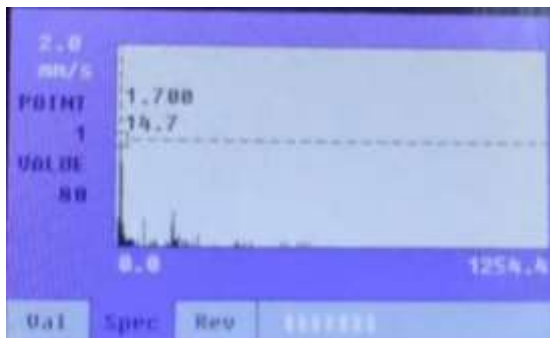


Gambar 5c. HDE Unbalance 750 rpm



5d. HNDE Unbalance 750 rpm

Pengujian Kondisi *Unbalance* putaran 1000 rpm

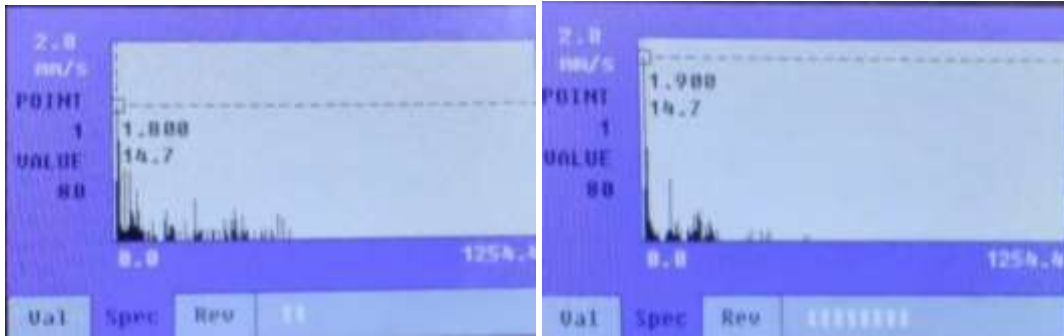


Gambar 6a. VDE Unbalance 1000 rpm



6b. VNDE Unbalance 1000 rpm

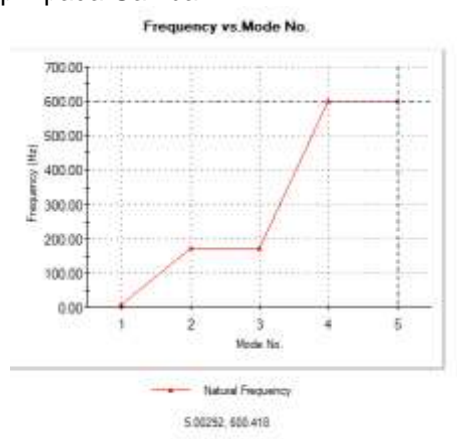
Berdasarkan Gambar 6a dan 6b, pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 1000 rpm dengan frekuensi *inverter* 17,08 Hz didapatkan hasil amplitudo vibrasi tinggi dan fluktuatif 1x rpm pada posisi radial sesuai dengan pola *unbalance* hal ini mengindikasikan adanya kondisi ketidakseimbangan. Nilai tertinggi terjadi pada posisi *vertical drive end* (VDE) dengan nilai 1,7 mm/s dan nilai 1,2 mm/s pada posisi VNDE. Dapat dilihat pada Gambar 6c dan 6d pengujian kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 1000 rpm posisi *horizontal drive end* menghasilkan nilai 1,8 mm/s dan nilai 1,9 mm/s pada horizontal non drive end.



Gambar 6c. HDE Unbalance 1000 rpm

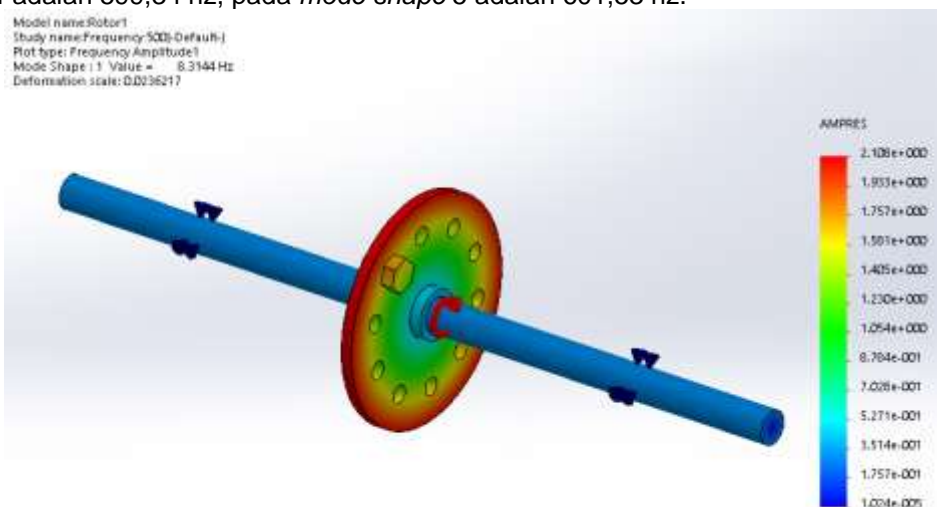
6d. HNDE Unbalance 1000 rpm

Setelah dibuat pemodelan dengan *Solidworks* maka dapat dihasilkan dari putaran 500 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm menghasilkan grafik mendekati bentuk grafik yang sama seperti terlihat pada putaran 1000 rpm pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi frekuensi natural vs mode shape, pada putaran 500 rpm

Pada Gambar 7 menunjukkan pada mode 1 menghasilkan frekuensi natural sebesar 8,31 hz, pada *mode shape* 2 sebesar 171,44 hz, pada *mode shape* 3 adalah 171, 55 hz, pada *mode shape* 4 adalah 599,34 hz, pada *mode shape* 5 adalah 601,53 hz.



Gambar 8. Hasil simulasi pada putaran 500 rpm pada mode shape 1

Terlihat amplitudo frekuensi pada *mode shape* 1 sebesar 8,31 hz, sedangkan amplitudo resultan (*AMPRES*) terbesar sebesar 2,108 (warna merah) berada pada sisi luar *disc* dan amplitudo resultan terkecil sebesar 0,320 (warna biru) berada pada bearing DE dan NDE (Gambar 8). Pada ujung poros sisi dekat dan jauh dari penggerak sebesar 0,316, hal ini dapat menunjukkan bahwa perilaku dinamika rotor dengan 1 disc dengan 1 simpangan pada *mode shape* 1.

4. KESIMPULAN

Grafik FFT menunjukkan telah memenuhi aturan kondisi *unbalance* adanya grafik tinggi 1X di vertikal dan 1X di horisontal. Beda fase pada vertikal dan horizontal sebesar 90°. Nilai aksial memiliki puncak yang rendah. Peristiwa ketidakseimbangan (*unbalance*) rotor dengan penambahan pemberat berupa 1 baut pada disc menghasilkan satu simpangan pada *mode shape* 1 dapat terlihat menggunakan perangkat lunak FEM.

5. DAFTAR NOTASI

$x[n]$: data waktu sampel digital

N : jumlah titik data yang diperoleh secara digital

n : indeks waktu

k : indeks frekuensi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. H. Sinaga and O. Y. Hutajulu, "Penggunaan Dan Pengaturan Motor Listrik," 2021.
- [2] T. Bhimodi Koryoso, Dasar-Dasar Getaran Mekanis. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET (Penerbit Andi), 2011.
- [3] F. A. Munir, "Evaluasi Kondisi Peralatan Imbalance, Unbalance, Bent Shaft, Soft Foot, Misalignment," 2022. [Online]. Available: <https://id.linkedin.com/pulse/evaluasi-kondisi-peralatan-2-imbalance-bent-shaft-alrosad-munir>
- [4] S. R. Yohanes, A. S. Lumenta, and S. RUA Sompie, "Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)," E-journal Tek. Elektro dan Komput. (2014), ISSN 2301-8402, pp. 1–9, 2014.
- [5] B. Cahyono, D. Priyanta, and F. R. F. Ramadhan, "Vibration Spectrum Analysis for Indicating Damage on Turbine and Steam Generator Amurang Unit 1," Int. J. Mar. Eng. Innov. Res., vol. 2, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j25481479.v2i1.2688.
- [6] F. Rachmanu, "Pemantauan Kondisi Pompa Sentrifugal P-12A Menggunakan Analisis Vibrasi Studi Kasus di PT. X," J. Ramatekno, vol. 2, no. 1, pp. 14–19, Apr. 2022, Accessed: Apr. 02, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.pei.ac.id/index.php/JRT1/article/view/34/23>
- [7] M. Abd-Elal, M. Loffy, T. Nabil, and A. Eldomiaty, "Condition-based monitoring of a small centrifugal pump by vibration analysis," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 610, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/610/1/012049.
- [8] F. Rachmanu, M. Suherman, and Y. Permana, "Studi Sistem Monitoring Getaran pada Modul Mesin Berputar Satu Disc Menggunakan LabVIEW dan FEM," Elektra, vol. 2, no. 2, pp. 32–41, 2017.
- [9] F. Rachmanu, Syafrizal, M. I. Subekti, and A. Turmudi, "Pengujian Modul Getaran Rotor Pada Journal Bearing Dengan Variasi Putaran Dan Viskositas Oli," Ramatekno, vol. 3, no. 2, pp. 12–17, 2023, doi: 10.61713/jrt.v3i2.97.
- [10] F. Rachmanu, A. Turmudi, D. W. Karmiadjji, M. N. Jalaluddin, and D. Romahadi, "Studi Variasi Getaran Poros Rotor Dengan Satu Disc Pada Journal Bearing Menggunakan Metode FFT Dan Simulasi FEA," Ramatekno, vol. 4, no. 1, pp. 10–17, 2023, doi: 10.61713/jrt.v4i1.164.
- [11] F. Rachmanu, "Studi Dinamika Rotor Pompa Pengisi Air Ketel (Bfwp) 6 Tingkat Menggunakan Perangkat Lunak," Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput., vol. 8, no. 1, pp. 209–218, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i1.934.

- [12] N. Ahobal and S. L. Ajit Prasad, "Study of vibration characteristics of unbalanced overhanging rotor," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 577, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/577/1/012140.
- [13] F. Rachmanu, M. Suherman, and Y. Permana, "Studi Sistem Monitoring Getaran pada Modul Mesin Berputar Satu Disc Menggunakan LabVIEW dan FEM," Elektra, vol. 2, no. 2, pp. 32–41, 2017.
- [14] F. Rachmanu et al., "Pemeliharaan Prediktif Pada Flue Gas Blower," vol. 3, no. 1, pp. 10–16, 2023.
- [15] F. Rachmanu, "Prediksi Getaran Pompa Rekondisi API 610 OH-4 Model 3900L dengan Solidworks," J. Elektra, vol. 1, no. 2, pp. 54–61, 2016.
- [16] N. Rezazadeh, A. De Luca, and D. Perfetto, "Unbalanced, cracked, and misaligned rotating machines: a comparison between classification procedures throughout the steady-state operation," J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng., vol. 44, no. 10, pp. 1–14, 2022, doi: 10.1007/s40430-022-03750-1.
- [17] B. Baas, DFT and FFT handout, handout College of engineering, University of California Davis, USA 2012 [dikutip 30 Oktober 2024].
<https://www.ece.ucdavis.edu/~bbaas/281/notes/Handout.fft1.pdf>