

STUDI GETARAN MESIN ROTOR PADA KONDISI *MECHANICAL LOOSENESS MOUNTED BEARING* MENGGUNAKAN *VIBRATION ANALYZER*

¹Fatkur Rachmanu, ¹Mokhammad Is Subekti, ¹Widodo, ¹Aji Wijaya, ²Agung Turmudi
¹Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama
²PT. Indorama Synthetic
¹e-mail: fatkur.rachman@gmail.com

Abstrak

Studi getaran pada suatu mesin berputar merupakan kegiatan pemeliharaan prediktif, Studi ini dilakukan untuk mengetahui getaran pada suatu mesin yang disebabkan oleh kasus *Mechanical Looseness* dengan mengkondisikan 1 baut kendur di posisi bearing 3 sebesar maksimum 1mm. Pengukuran getaran dilakukan dengan menggunakan alat *Vibration Analyzer* yang dapat membaca nilai RMS (*Root Means Square*) *velocity* serta menampilkan spektrum FFT suatu getaran pada posisi vertikal dan horizontal pada bagian motor dan rumah bearing. Pengujian pertama nilai *velocity* dan frekuensi yang dihasilkan pada kondisi normal pada kecepatan putaran 500 rpm menghasilkan nilai *velocity* tertinggi 2,17 mm/s dengan frekuensi 8,06 Hz pada arah 3V. Kecepatan putaran 1000 rpm menghasilkan nilai *velocity* 1,52 mm/s dengan frekuensi 16,90 Hz pada arah 3V serta kecepatan putar 1500 rpm menghasilkan nilai *velocity* tertinggi yaitu 1,17 mm/s dengan frekuensi 24,60 Hz pada arah 3V. Studi sesuai dengan kondisi pola *mechanical looseness* ½X rendah 1X tinggi 2X sedang 3X rendah.

Kata kunci: *Getaran, Mechanical Looseness, velocity, rpm, Vibration Analyzer*

Abstract

A vibration study on a rotating machine is a predictive maintenance activity. This study was conducted to identify vibrations in a machine caused by mechanical looseness by intentionally loosening one bolt at bearing position 3 by a maximum of 1 mm. Vibration measurements were taken using a Vibration Analyzer capable of reading RMS (Root Mean Square) velocity values and displaying the FFT spectrum of vibrations in the vertical and horizontal directions on the motor and bearing housing. The first test of velocity and frequency values under normal conditions at a rotational speed of 500 rpm yielded a maximum velocity value of 2.17 mm/s with a frequency of 8.06 Hz in the 3V. A rotational speed of 1000 rpm produced a velocity of 1.52 mm/s at 16.90 Hz frequency in the 3V direction, and a rotational speed of 1500 rpm produced the highest velocity value of 1.17 mm/s with a frequency of 24.60 Hz in the 3V direction. The study corresponds to conditions of mechanical looseness patterns: ½X low, 1X high, 2X moderate, and 3X low.

Keywords: *Vibration, Mechanical Looseness, velocity, rpm, Vibration Analyzer*

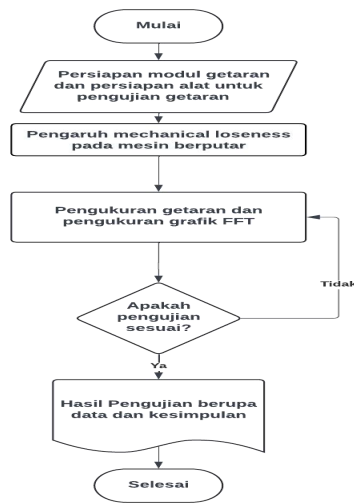
1. Pendahuluan

Pemeliharaan prediktif pada mesin rotasi industri menjadi aspek krusial dalam menjaga keandalan sistem produksi dan meminimalkan *downtime*. Salah satu metode yang paling efektif adalah melalui pemantauan kondisi pompa sentrifugal menggunakan analisis vibrasi, seperti yang dilakukan pada studi kasus di PT. X [1]. Selain pemantauan rutin, modifikasi pada desain pompa juga sering dilakukan untuk menekan nilai vibrasi agar tetap dalam batas aman operasional sesuai standar industri [2]. Pengembangan sistem monitoring getaran saat ini telah memanfaatkan teknologi simulasi yang presisi. Penggunaan perangkat lunak *LabVIEW* dan *Finite Element Method* (FEM) pada modul mesin berputar memberikan pemahaman mendalam mengenai perilaku

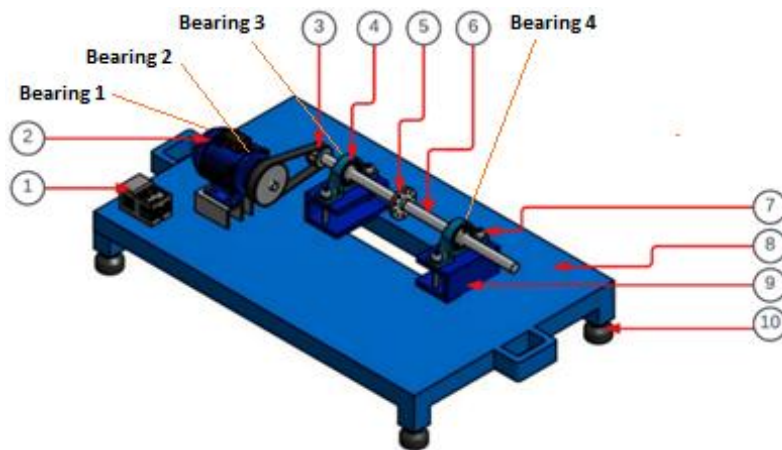
dinamika struktur [3]. Teknologi simulasi seperti *Solidworks* juga telah digunakan untuk memprediksi getaran pada pompa rekondisi standar API 610 [4], sementara integrasi metode FFT dan simulasi FEA membantu dalam menganalisis variasi getaran poros pada journal bearing secara teoretis dan eksperimental [5]. Penelitian menyimpulkan bahwa metode pengukuran kecepatan putaran pompa sentrifugal berbasis ekstraksi frekuensi dominan dari sinyal getaran menggunakan Zoom-FFT [6]. Deteksi dini longgar baut pada struktur multi-baut dapat dilakukan secara akurat (sekitar 95,8%) menggunakan klasifikasi ML berbasis sinyal getaran dengan STFT dan seleksi fitur frekuensi 0–25 Hz [7]. Kelonggaran bantalan dan dudukan bantalan memiliki frekuensi ciri utama $fr/2$ dan $5fr/2$, saling sedikit mempengaruhi [8]. Menunjukkan adanya tiga tahap longgar (*steady-transition-loosen*) dan bahwa getaran acak lebih dominan memicu longgar baut saat torsi pengencangan kecil, sedangkan pengaruh sinus dan acak menjadi seimbang saat baut lebih kencang [9]. Telah dilakukan penelitian dengan celah longgar dan rubbing memiliki ambang tertentu di mana respons getaran menjadi lebih kompleks atau kembali lebih stabil [10]. Untuk meningkatkan akurasi deteksi, implementasi algoritma pemrosesan sinyal seperti FIR *Bandpass Filter* dan metode *Welch* telah terbukti efektif dalam memisahkan sinyal gangguan dari derau latar belakang pada pompa sentrifugal [11]. Analisis sinyal getaran pada pompa cooling water menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dan standar ISO 10816-3 mampu mendeteksi jenis kerusakan mekanis secara akurat serta menentukan kategori kondisi kesehatan mesin berdasarkan batas ambang getaran yang diizinkan [12]. FFT digunakan untuk identifikasi frekuensi dominan, sementara STFT mendeteksi perubahan karakteristik getaran non-stasioner, efektif untuk deteksi dini ketidaksejajaran (*misalignment*) atau kerusakan bantalan [13]. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Artificial Neural Networks (ANN) pada sistem diagnosis cerdas mampu mengklasifikasikan pola sinyal getaran mesin sentrifugal secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi untuk mendeteksi kegagalan mekanis sejak dini [14]. Metode Short Time Fourier Transform (STFT) memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif dibandingkan FFT karena mampu merepresentasikan perubahan frekuensi sinyal getaran terhadap domain waktu secara bersamaan pada drum roller [15]. Meskipun berbagai gangguan mekanik telah banyak diteliti, fenomena *mechanical looseness* (kelonggaran mekanis) tetap menjadi salah satu penyebab utama kegagalan mesin yang memerlukan identifikasi spektrum yang spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian getaran mesin rotor pada kondisi *mechanical looseness* menggunakan *vibration analyzer*. Dengan merujuk pada metodologi analisis spektrum dari penelitian terdahulu, diharapkan karakteristik frekuensi dari kelonggaran mekanis dapat diidentifikasi secara akurat untuk mendukung sistem diagnosa kegagalan mesin yang lebih handal.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memahami perbedaan perilaku getaran antara kondisi normal dan adanya kelonggaran mekanis. Pengujian poros, yang digerakkan oleh motor induksi via *timing pulley* dan *timing belt*, dilakukan pada berbagai kecepatan, mulai dari 500 rpm hingga 1500 rpm. Kondisi kelonggaran mekanis sengaja diciptakan dengan melonggarkan baut di bagian kiri (dilihat dari belakang motor). Pengumpulan data getaran dilakukan pada dua arah (vertikal dan horizontal) di kedua ujung poros (*drive end* dan *non-drive end*). Tujuan spesifik dari studi ini adalah untuk membandingkan grafik *Fast Fourier Transform* (FFT) dari kondisi normal dan *Mechanical Looseness*, serta untuk mengidentifikasi bagaimana variasi kecepatan poros memengaruhi nilai getaran ketika kelonggaran mekanis terjadi. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Variable Speed Drive 220V 50Hz | 6. Poros Stainless Steel |
| 2. Motor induksi 220V 50 Hz | 7. Mur dan Baut L |
| 3. Timing pulley dan belt | 8. Meja plat |
| 4. Bearing UCP 202 | 9. Dudukan pillow block |
| 5. Disc | 10. Adjuster height |

Gambar 2. Modul getaran mesin rotor

Pengukuran modul getaran dengan kondisi *Mechanical Looseness* (*pillow block looseness*) kondisi baut pada posisi 3 (*drive end*), longgar baut sebelah kiri dilihat dari belakang motor. Berikut dapat dilihat pengukuran celah kelonggaran baut pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran celah kelonggaran baut

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, - 1500 rpm yang diatur menggunakan variable speed drive (VSD), dan tachometer untuk memastikan putaran poros sesuai dengan frekuensi *variable speed drive / inverter*. Pengukuran pertama dilakukan pada kondisi *unbalance* dengan kecepatan putaran 500 rpm dan frekuensi VSD 8,65 Hz.

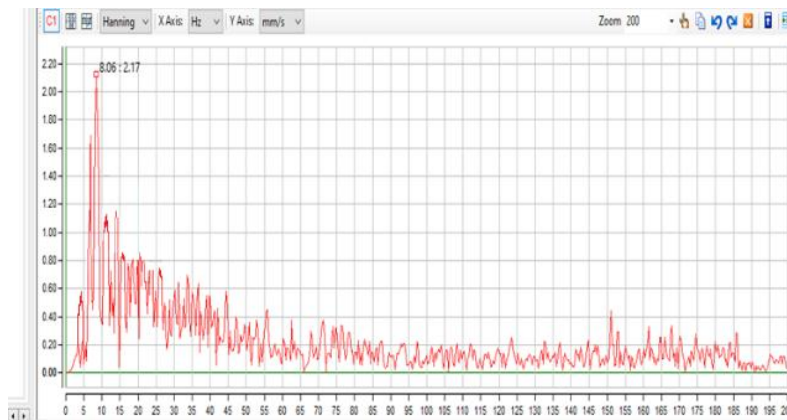
Pengujian Kondisi *Mechanical Looseness* 500 rpm

Berikut ini nilai *velocity* getaran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran *velocity* getaran kecepatan putaran 500 rpm

RPM	Posisi	Nilai RMS (mm/s)
500	3V	5,33
	4V	3,51
	3H	4,01
	4H	5,30

Menurut **Tabel 1** Nilai RMS *velocity* tertinggi arah vertikal adalah 5,33 mm/s pada posisi 3V, nilai *velocity* tertinggi arah *horizontal* adalah 5,30 mm/s pada posisi 4H. Selanjutnya dilakukan pengukuran grafik FFT putaran 500 rpm dengan posisi 3V. Pengukuran dalam kondisi *pillow block looseness* putaran poros 500 rpm dengan frekuensi VSD (8,65 Hz) menunjukkan grafik FFT 1X tinggi, 2X sedang dan 3X rendah, pada Posisi 3V menunjukkan grafik FFT 2,17 mm/s dengan Frekuensi getaran 8,06 Hz, dapat dilihat dari pengujian metode FFT pada Gambar 4.



Gambar 4.A. 3V Mechanical looseness 500 rpm

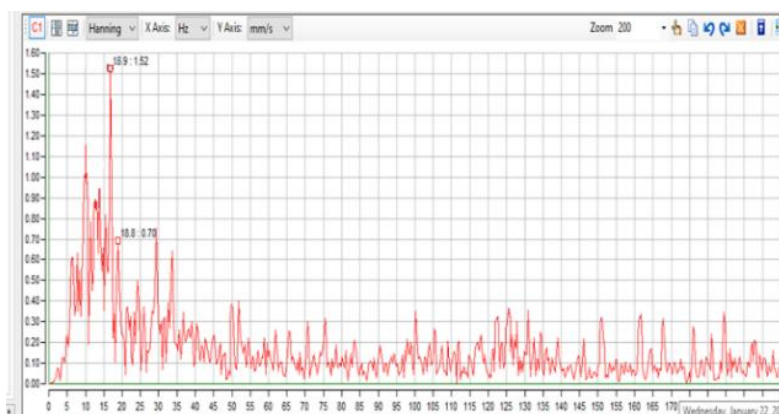
Pengujian Kondisi Mechanical Looseness 1000 rpm

Berikut ini nilai *velocity* getaran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran *velocity* getaran kecepatan putaran 1000 rpm

RPM	Posisi	Nilai RMS (mm/s)
1000	3V	4,56
	4V	3,59
	3H	3,49
	4H	5,19

Nilai *velocity* tertinggi arah vertikal adalah 4,56 mm/s pada posisi 3V dan nilai *velocity* tertinggi arah *horizontal* adalah 5,19 mm/s pada posisi HNDE. Selanjutnya dilakukan pengukuran grafik FFT. Pengukuran dalam kondisi *pillow block looseness* putaran poros 1000 rpm dengan frekuensi *Inverter* (17,08 Hz) menunjukkan grafik FFT 1X tinggi, 2X sedang dan 3X rendah. Pada Posisi 3V menunjukkan grafik FFT 1,52 mm/s dengan Frekuensi getaran 16,9 Hz. Dapat dilihat pada pengujian metode FFT pada Gambar 5.



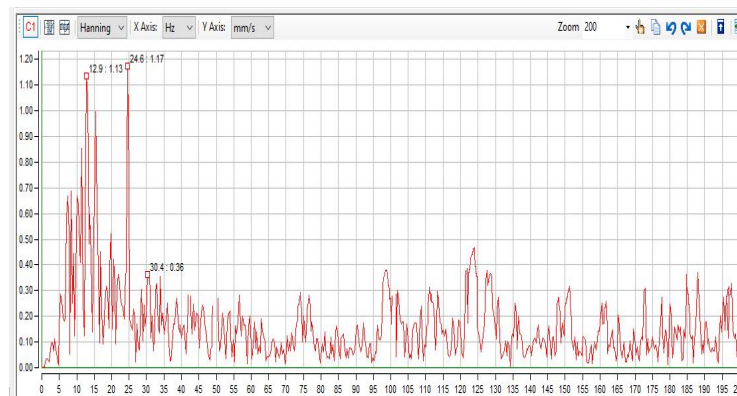
Gambar 5. 3V Mechanical looseness 1000 rpm

Pengujian Kondisi Mechanical Looseness 1500 rpm. Berikut ini nilai *velocity* getaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran *velocity* getaran kecepatan putaran 1500 rpm

RPM	Posisi	Nilai RMS (mm/s)
1500	3V	4,52
	4V	4,29
	3H	4,94
	4H	5,13

Nilai *velocity* tertinggi arah vertikal adalah 4.52 mm/s pada posisi 3V dan nilai *velocity* tertinggi arah *horizontal* adalah 5,13 mm/s pada posisi HNDE. Selanjutnya dilakukan pengukuran grafik FFT. Pengukuran dalam kondisi *pillow block looseness* putaran poros 1500 rpm dengan frekuensi *Inverter* (25,00 Hz) menunjukkan grafik FFT 1X sedang, 2X tinggi dan 3X rendah. Pada Posisi 3H menunjukkan grafik FFT 1,40 mm/s dengan Frekuensi getaran 24,7 Hz. Dapat dilihat pengujian metode FFT pada Gambar 6.



Gambar 6. 3V Mechanical looseness 1500 rpm

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian mesin rotor pada kondisi *Mechanical Looseness* maka dapat disimpulkan :

Pengujian kondisi *Mechanical Looseness* dengan kecepatan putaran 500 rpm menghasilkan nilai *velocity* tertinggi yaitu 2,17 mm/s dengan frekuensi 8,06 Hz yang terdapat pada posisi 3V dan pada kecepatan putar poros 1000 rpm menghasilkan nilai *velocity* 1,52 mm/s dengan frekuensi 16,90 Hz pada posisi 3V. Selanjutnya untuk kecepatan putar poros 1500 rpm menghasilkan nilai *velocity* tertinggi yaitu 1,17 mm/s dengan frekuensi 24,60 Hz yang terdapat pada posisi 3V. Getaran berpola ½ rendah disusul dominasi getaran pada frekuensi 1X RPM tinggi, 2X sedang dan 3X rendah ini merupakan ciri khas dari kerusakan mekanis yang bersifat struktural/ baut kendur/*looseness*, di mana komponen yang longgar dipaksa bergerak mengikuti gaya sentrifugal poros, putaran poros tinggi akan menghasilkan amplitudo vibrasi yang rendah dimana telah melewati putaran kritisnya. Ukuran kelonggaran pada baut *pillow block bearing* dikondisikan maksimal 1 mm untuk kondisi *Mechanical Loosenes*.

Daftar Pustaka

- [1] F. Rachmanu, "Pemantauan Kondisi Pompa Sentrifugal P-12a Menggunakan Analisis Vibrasi Studi Kasus Di PT. X," *Ramatekno*, vol. 2, no. 1, pp. 14–19, 2022, doi: 10.61713/jrt.v2i1.34.
- [2] F. Rachmanu, "Modifikasi Pompa Proses Jenis Sentrifugal Terhadap Nilai Vibrasi Di PT. Z," *Ramatekno*, vol. 2, no. 2, pp. 24–30, 2023, doi: 10.61713/jrt.v2i2.56.
- [3] F. Rachmanu, "Studi Sistem Monitoring Getaran pada Modul Mesin Berputar Satu Disc Menggunakan LabView dan FEM," *Elektra*, vol. 2, pp. 32–41, Jul. 2017.

-
- [4] F. Rachmanu, "Prediksi Getaran Pompa Rekondisi API 610 OH-4 Model 3900L dengan Solidworks," *Elektra*, vol. 1, pp. 54–61, 2016.
- [5] F. Rachmanu, A. Turmudi, D. W. Karmiadji, 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.
- [6] Luo Y, Yan H. Research on Centrifugal Pump Speed Measurement Based on Vibration Measurement. *Sensors*. 2025;25(10).
- [7] Oybek Eraliev, Kwang-Hee Lee CHL. Vibration-Based Loosening Detection of a Multi-Bolt Structure Using Machine Learning Algorithms. *Sensors*. 2022;22(1210). Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1210>
- [8] Huo Z, Chen J, Hao L, Gao J. an Analysis of Vibration Characteristics of a Rotor System With Coupling Faults of Bearing Looseness and Bearing Pedestal Looseness. *Trans Famena*. 2025;49(2):103–16.
- [9] Du J, Qiu Y, Li J. Research on Bolt Loosening Mechanism Under Sine-on-Random Coupling Vibration Excitation. *Machines* [Internet]. 2025;13(2). Available from: <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/2/80>
- [10] Nan G, Yao J, Chen X, Jiang S. Coupling dynamics of pedestal looseness and impact-rub for rotor system with nonlinear support. *Adv Mech Eng* [Internet]. 2024;16(1):1–15. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/16878132231222907>
- [11] D. Romahadi, A. G. Feleke, T. W. Adinarto, D. Feriyanto, A. W. Biantoro, and F. Rachmanu, "Evaluation of FIR Bandpass Filter and Welch Method Implementation for Centrifugal Pump Fault Detection," *Sinergi (Indonesia)*, vol. 29, no. 2, pp. 347–360, 2025, doi: 10.22441/sinergi.2025.2.007.
- [12] T. W. Adinarto and D. Romahadi, "Analisis Sinyal Getaran Pompa Cooling Water Tipe Sentrifugal Menggunakan Metode FFT dan ISO 10816-3," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, p. 42, 2024, doi: 10.22441/jtm.v13i1.20992.
- [13] D. Romahadi and I. Maris, "Penerapan FFT dan STFT dalam Mendiagnosis Getaran ID Fan Berjenis Sambungan Kopel," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 3, 2022.
- [14] D. Romahadi, F. Anggara, A. F. Sudarma, and H. Xiong, "The Implementation of Artificial Neural Networks in Designing Intelligent Diagnosis Systems for Centrifugal Machines Using Vibration Signal," *Sinergi*, vol. 25, no. 1, p. 87, 2020, doi: 10.22441/sinergi.2021.1.012.
- [15] D. Romahadi and R. P. Youlia, "Analisis Getaran Displacement Drum Roller Menggunakan Fast Fourier dan Short Time Fourier Transform," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2023.