

STUDI VARIASI GETARAN POROS ROTOR DENGAN SATU DISC PADA JOURNAL BEARING MENGGUNAKAN METODE FFT DAN SIMULASI FEA

¹Fatkur Rachmanu, ²Agung Turmudi, ³Djoko Wahyu Karmiadi, ⁴Mai Nursherida Jalaluddin, ⁵Dedik Romahadi

^{1,2}Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjineri Indorama, Indonesia

³Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Indonesia

⁴Engineering and Technology, Infrastructure University Kuala Lumpur, Malaysia

⁵Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana, Indonesia

¹e-mail: fatkur.rachman@gmail.com

Abstrak

Mesin berputar sangat penting dalam banyak aplikasi di sektor industri. Salah satu komponen yang paling penting dalam mesin berputar adalah penggunaan journal bearing. Metode Fast Fourier Transform (FFT) digunakan untuk analisis getaran dalam menguji sistem getaran poros rotor dengan satu disc pada komponen journal bearing. Pengujian ini menggunakan oli SAE 30 dan variasi putaran motor beroperasi pada rentang 1500 rpm hingga 2500 rpm, dengan kenaikan 200 rpm tiap pengamatan. Pengukuran getaran dilakukan pada posisi sensor secara vertikal di journal bearing. Hasil pengukuran berupa spektrum FFT menggunakan VibXpert menunjukkan adanya gejala misalignment, dengan munculnya nilai amplitudo tertinggi pada putaran 1x, 2x, dan 3x rpm pada setiap kenaikan putaran. Putaran kritis pada poros dihitung dengan menggunakan software Ansys, dengan hasil mencapai 6568,8 rpm di atas putaran operasi, sehingga aman untuk digunakan pada putaran operasi.

Kata kunci: variasi, getaran, journal bearing, FFT, FEA

Abstract

Rotating machinery is essential in many applications in the industrial sector. One of the most important components in rotating machinery is the use of journal bearings. The Fast Fourier Transform (FFT) method is used for vibration analysis in examining the vibration system of a rotor shaft with one disc in a journal bearing component. This test uses SAE 30 oil and variations in motor rotation operate in the range of 1500 rpm to 2500 rpm, with an increase of 200 rpm per observation. Vibration measurements were taken at the sensor position vertically in the journal bearing. The measurement results in the form of FFT spectra using VibXpert show the presence of misalignment symptoms, with the appearance of the highest amplitude values at 1x, 2x, and 3x rpm at each increase in rotation. The critical rotation on the shaft was calculated using Ansys software, with the results reaching 6568.8 rpm above the operating rotation, making it safe to use at the operating rotation.

Keyword: variation, vibration, journal bearing, FFT, FEA

1. PENDAHULUAN

Mesin berputar memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi disektor industri. Salah satu komponen kritis pada mesin berputar adalah penggunaan *journal bearing* yang berfungsi

Makalah dikirim 2 Februari 2024; Revisi 2 Maret 2024; Diterima 2 April 2024

untuk menompang poros rotor dan mengurangi gesekan pada saat beroperasi. *Journal bearing* umumnya digunakan pada pompa, kompresor, generator, dan turbin. Pengukuran getaran pada *journal bearing* penting dilakukan untuk mendeteksi masalah seperti ketidakstabilan induksi fluida (*oil whirl*), ketidakseimbangan (*unbalance*) elemen berputar, ketidaklurusan (*misalignment*) pada pemasangan kopling dan bearing, serta eksentrisitas (*eccentricity*) [1].

Pemeliharaan prediktif dianggap sebagai pendekatan proaktif yang memanfaatkan teknologi pengukuran canggih dan analisis data untuk mengantisipasi potensi kerusakan peralatan, memungkinkan penghematan biaya dan meningkatkan efisiensi operasional [2]. Kerusakan mesin yang tidak tepat waktu akan menimbulkan kerugian yang cukup besar terutama bagi perusahaan manufaktur karena berdampak pada laju produksi. Selama pengoperasian, mesin akan menimbulkan getaran dan kemungkinan akan terjadi getaran yang tidak diinginkan yang akan mengganggu sistem mesin, sehingga mengakibatkan terjadinya kesalahan seperti ketidakseimbangan, keausan, dan ketidaksejajaran [3]. Karakteristik getaran yang dihasilkan oleh suatu kerusakan mesin bersifat unik, sehingga dengan menganalisis sinyal getaran karakteristik jenis kerusakan dapat ditentukan [4]. Aplikasi modul poros rotor di industri dapat berupa pemantauan kondisi mesin / pompa menggunakan analisis vibrasi [5], serta kasus-kasus yang terjadi di pabrik [6],[7].

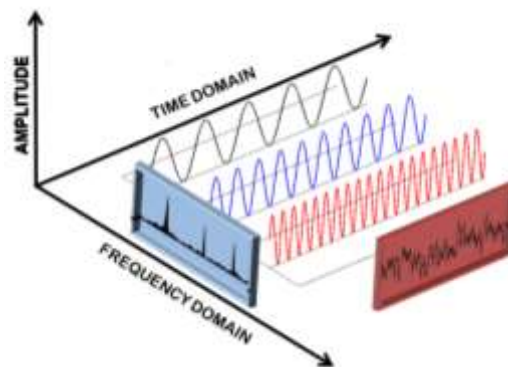
Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis spektrum FFT getaran yang dihasilkan *journal bearing* terhadap pengaruh variasi kecepatan putaran dan viskositas oli. Dalam penelitian ini menggunakan oli SAE 30 serta kecepatan motor bekerja pada putaran 1500 rpm – 2500 rpm dengan kenaikan putaran 200 rpm. Pengujian getaran rotor telah diamati menggunakan metode FFT dengan alat sederhana [8].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan berupa dibuatkannya alat uji modul getaran rotor. Proses pengambilan data sinyal getaran menggunakan alat ukur *vibration analyzer*, serta untuk mengetahui putaran kritis sistem poros rotor dilakukan simulasi menggunakan *software Ansys*.

2.1. Fast Fourier Transform

Analisis getaran dapat diuji dalam domain frekuensi dengan cara memeriksa setiap komponen frekuensi bentuk gelombang [9]. *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah perhitungan operasi matematika mengubah data bentuk gelombang dalam domain waktu ke dalam domain frekuensi [10]. Berikut dapat dilihat konsep FFT pada Gambar 1.



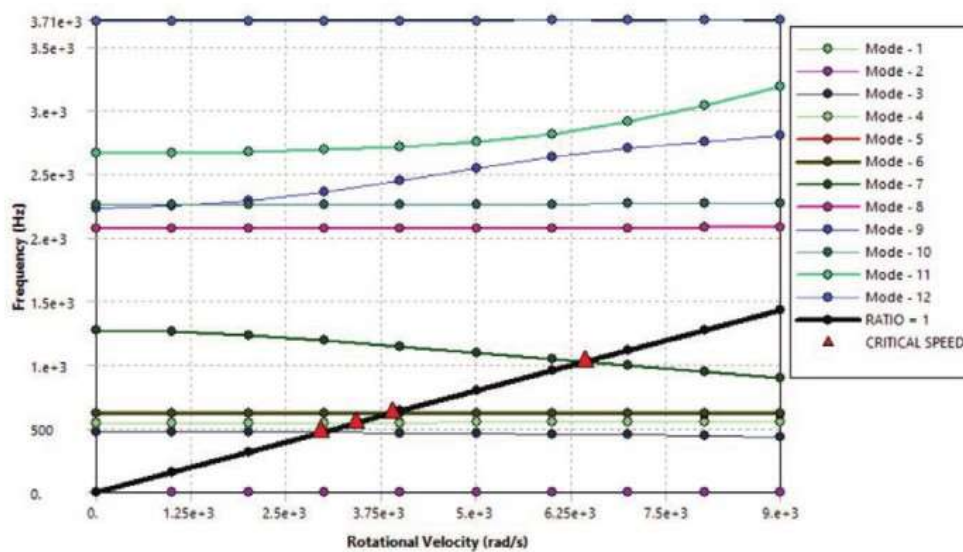
Gambar 1. Konsep Fast Fourier Transform (FFT)

Konsep *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan hubungan antara domain waktu terhadap domain frekuensi. Untuk menganalisis beberapa masalah seperti ketidakseimbangan dapat didiagnosis dalam domain waktu.

2.2. Simulasi Putaran Kritis

Penggunaan perangkat lunak untuk mengetahui putaran kritis membutuhkan model 3D berupa penggabungan komponen-komponen yang digunakan dan material yang telah ditentukan. Simulasi ini menggunakan *software Ansys*, yaitu dengan menggunakan analisis modal frekuensi [11], [12]. Putaran kritis dipakai pada kasus getaran torsional pompa sumur dalam [13]. Pada modul mesin berputar dapat disimulasikan dengan metode elemen hingga dan akan terbentuk beberapa mode [14]. Prediksi getaran poros rotor dapat menggunakan simulasi FEA [15].

Dalam simulasi putaran kritis menggunakan metode diagram *Campbell* guna mengukur interferensi getaran yang membuat modul akan menjadi tidak normal atau mengakibatkan rusak. Diagram *Campbell* digunakan untuk menunjukkan plot variasi frekuensi natural sistem rotor dengan variasi kecepatan putar serta digunakan untuk mengetahui kecepatan kritis sistem rotor sebagai titik perpotongan eksitasi garis orde dengan garis frekuensi natural. Ini membantu dalam mengetahui daerah kecepatan operasi yang aman untuk sistem rotor [16]. Berikut dapat dilihat tampilan diagram *Campbell* pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram *Campbell*

2.3. Alat dan Bahan

Alat uji yang digunakan dalam penelitian berupa rakitan/modul sistem poros rotor yang digerakkan oleh motor listrik AC 3-Fase yang diatur kecepatan putar dengan inverter. Sistem poros rotor tersebut ditumpu oleh *journal bearing* dan *ball bearing* yang dipasangkan satu buah rotor terdiri dari satu poros dan 1 *disc*. Daya putaran motor listrik akan ditransmisikan melalui kopling fleksibel menjadi daya putaran rotor. Penggunaan kopling fleksibel diharapkan akan mampu mengurangi efek ketidaksumbu (*misalignment*) antara sumbu poros dan sumbu motor. Gambar 3 menunjukkan modul sistem poros rotor yang digunakan untuk pengujian.



Gambar 3. Modul Sistem Poros Rotor

Modul dalam pengoperasiannya dilengkapi sebuah pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan oli pada *journal bearing*, tipe pompa yang digunakan adalah tipe pompa peristaltik sebagai pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan oli, hal ini karena pompa peristaltik memiliki laju aliran dan tekanan yang rendah. Berikut pompa peristaltik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pompa peristaltic

Pengukuran getaran pada komponen *journal bearing* menggunakan alat ukur *vibration analyzer* yang akan menampilkan data pengukuran berupa spektrum FFT. Pengukuran dilakukan secara langsung dengan menempelkan transduser *accelerometer* pada komponen *journal bearing* rakitan sistem poros rotor. Berikut dapat dilihat alat ukur *vibration analyzer* pada Gambar 5.



Gambar 5. Vibration analyzer (VibXpert)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pengujian secara langsung dengan menggunakan alat *vibration analyzer*. Hasil pengukuran getaran akan menampilkan bentuk spektrum FFT, nilai getaran berupa spektrum FFT tersebut merupakan gabungan antara domain waktu dengan domain frekuensi sehingga dapat memudahkan dalam mengidentifikasi sumber masalah. Pengambilan data dilakukan pada posisi vertikal *bearing* NDE (*journal bearing*), putaran motor listrik 1500 rpm - 2500 rpm dengan kenaikan putaran 200 rpm dan penggunaan oli SAE 30. Spektrum FFT yang dihasilkan dengan variasi putaran motor listrik diharapkan mampu memberikan informasi terkait fenomena getaran yang terjadi, serta untuk mengetahui nilai putaran kritis pada poros dilakukan simulasi menggunakan *software Ansys*.

3.1. Pengukuran Getaran Overall

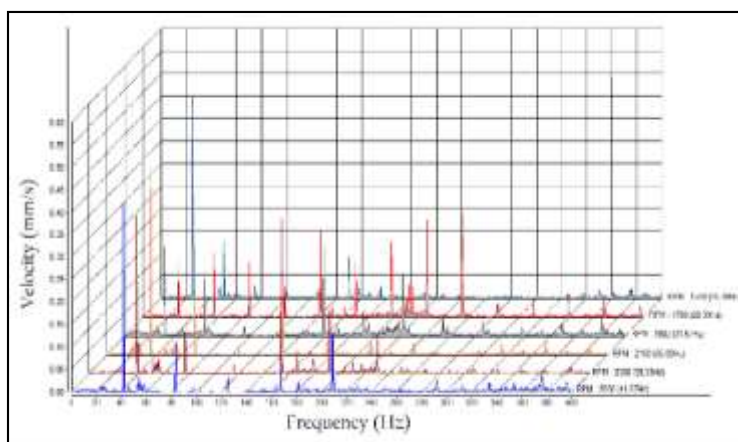
Pengambilan data getaran *overall* dilakukan pada setiap putaran motor listrik yang ditentukan untuk setiap pengujian. Pengukuran getaran *overall* dilakukan pada tiga posisi yaitu horizontal, vertikal, dan aksial *bearing* posisi NDE. Berikut merupakan data pengukuran amplitudo getaran dengan viskositas oli SAE 30 serta variasi kecepatan putaran motor listrik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran getaran overall

RPM	Posisi	Journal Bearing (mm/s)
1500	Horizontal	0,9
	Vertikal	0,6
	Aksial	0,6
1700	Horizontal	2,8
	Vertikal	0,9
	Aksial	2,0
1900	Horizontal	1,0
	Vertikal	0,6
	Aksial	1,5
2100	Horizontal	0,7
	Vertikal	0,5
	Aksial	0,5
2300	Horizontal	0,9
	Vertikal	0,6
	Aksial	1,0
2500	Horizontal	1,1
	Vertikal	0,7
	Aksial	0,7

3.2. Pengukuran Spektrum FFT

Untuk hasil pengukuran getaran berupa spektrum FFT dengan menggunakan oli SAE 30 dengan kecepatan 1500 rpm – 2500 rpm dengan kenaikan kecepatan putaran 200 rpm, pada kesimpulan sementara dari hasil pengukuran spektrum FFT untuk kondisi keseluruhan mengalami gejala *misalignment* pada setiap kenaikan kecepatan putaran 200 rpm. Gambar 6 memperlihatkan pola spektrum FFT *waterfall* yang dihasilkan untuk berbagai kondisi kecepatan, dari hasil pengamatan kecepatan putaran 1500 rpm - 2500 rpm memperlihatkan adanya gangguan *misalignment* karena munculnya 1x, 2x, 3x rpm pada setiap kenaikan kecepatan putaran. Nilai amplitudo tertinggi untuk 1x, 2x, 3x rpm, muncul pada kecepatan putaran 2500 Rpm dengan nilai amplitudo untuk 1x rpm sebesar 0,58 mm/s pada frekuensi 41,75 Hz, nilai amplitudo untuk 2x rpm sebesar 0,20 mm/s pada frekuensi 83,50 Hz, dan nilai amplitudo untuk 3x rpm sebesar 0,02 mm/s pada frekuensi 125,25 Hz. Serta tidak adanya kemunculan terjadinya gangguan *oil whirl* pada penggunaan oli SAE 30 dari pengaturan kecepatan putaran 1500 rpm – 2500 rpm.



Gambar 6. Spektrum FFT waterfall

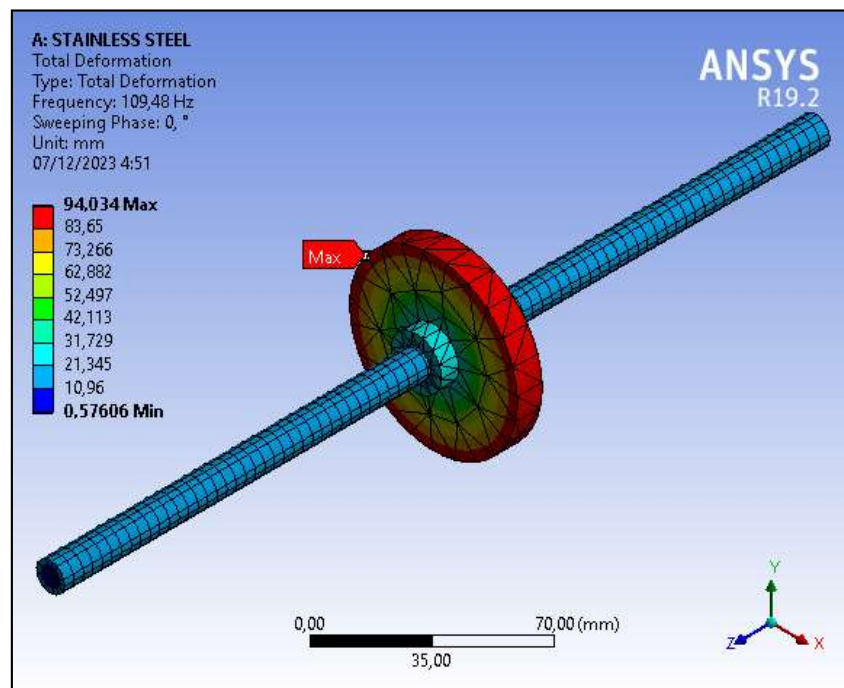
3.3. Simulasi Putaran Kritis Poros

Simulasi putaran kritis pada poros dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural terhadap rakitan sistem poros rotor. Berikut dapat dilihat pada Tabel 2 parameter struktur sistem poros rotor.

Tabel 2. Parameter struktur sistem poros rotor

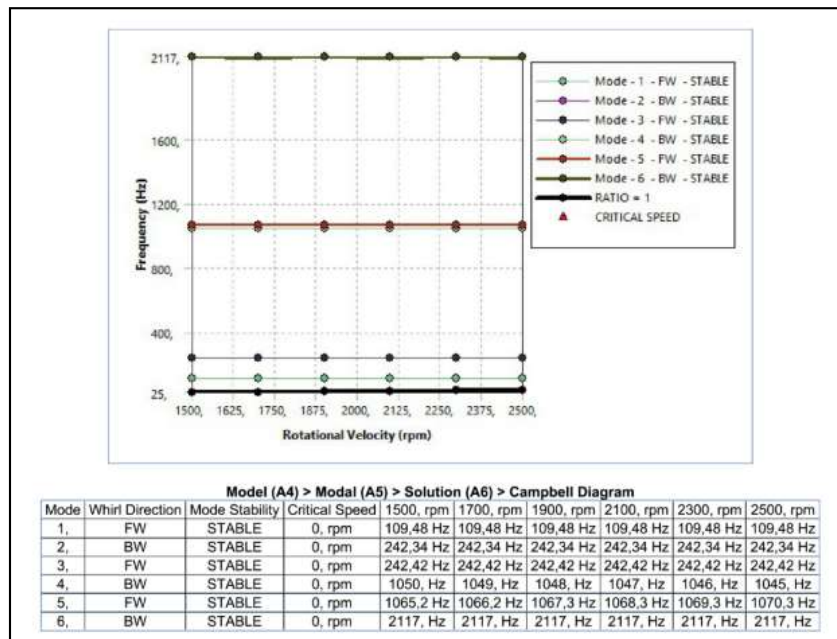
Nama	Nilai
Diameter disk (m)	60
Lebar disk (m)	10
Diameter poros (m)	10
Bahan	SS304
Density (Kg/m ³)	7750
Modulus elastisitas (N/m ²)	1,93 × 10 ⁵

Tabel 2 menampilkan parameter untuk simulasi putran kritis sistem poros rotor, dimana untuk hasil simulasi perhitungan putaran kritis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil simulasi putaran kritis

Hasil simulasi yang didapatkan dengan ukuran disk Ø60 mm serta panjang poros 310,5 mm menghasilkan frekuensi natural (f_n) sebesar 109,48 Hz dan terjadi deformasi tertinggi pada diameter luar disk sebesar 94,034 mm di mode ke-1 seperti Gambar 7, sedangkan pada Gambar 8 memperlihatkan diagram *Campbell* dari hasil simulasi putaran kritis.



Gambar 8. Diagram Campbell

Hasil simulasi putaran kritis pada kecepatan putaran 1500 rpm – 2500 rpm dengan kelipatan kenaikan kecepatan putaran 200 rpm, terlihat pada diagram *Campbell* tidak menampilkan hasil putaran kritis, namun dari hasil simulasi menghasilkan frekuensi natural (fn) sebesar 109,48 Hz atau sebesar putaran kritis mencapai 6568,8 rpm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian modul getaran rotor dengan 4 variasi putaran maka dapat disimpulkan :

Pengukuran getaran pada kecepatan 1500 rpm – 2500 rpm, hasil pengukuran berupa spektrum FFT mengindikasikan adanya gejala *misalignment* sesuai dengan pola kemunculan nilai amplitudo tertinggi pada 1x, 2x, dan 3x rpm pada setiap kenaikan kecepatan. Putaran kritis pada poros dihitung menggunakan *software Ansys* dengan hasil putaran kritis mencapai 6568,8 rpm di atas putaran operasi, sehingga aman untuk dipergunakan pada putaran operasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Eddy, Andriyansa, A. Halim, and R. Wibawa Purabaya, "Analisis Getaran pada Bantalan Luncur yang Diakibatkan Oleh Pengaruh Kekentalan Pelumas," *Snast*, no. November, pp. 211–216, 2014.
- [2] C. Ates, H. Tobias, M. Witt, R. Koch, and H.-J. Bauer, "Vibration-Based Wear Condition Estimation of Journal Bearings Using Convolutional Autoencoders," *Sensors*, pp. 1–20, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23229212>.
- [3] M. Hazwan and M. Ghazali, "Vibration Analysis for Machine Monitoring and Diagnosis : A," *Hindawi*, vol. 2021, 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/9469318>.
- [4] D. B. Setyawan and Sufiyanto, "METODE VIBRATION ANALYSIS DALAM APLIKASI PERAWATAN MESIN," *Transmisi*, vol. 2, pp. 921–930, 2013.
- [5] 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>
- [6] F. Rachmanu, "Modifikasi Pompa Proses Jenis Sentrifugal Terhadap Nilai Vibrasi di PT. Z," *J. RAMATEKNO*, vol. 2, no. 2, pp. 24–30, 2022, Accessed: Oct. 10, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.pei.ac.id/index.php/JRT1/article/download/56/43>
- [7] F. Rachmanu *et al.*, "Pemeliharaan Prediktif Pada Flue Gas Blower," vol. 3, no. 1, pp. 10–16, 2023.
- [8] 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.
- [9] H. K. Patel, D. Shah, and A. Raghuwanshi, "Real Time Machine Health Monitoring and Vibrational Analysis using FFT Approach," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 8958, no. 5, pp. 1833–1836, 2019.
- [10] I. DATAQ Instruments, "FFT (Fast Fourier Transform) Waveform Analysis," 2024. <https://www.dataq.com/data-acquisition/general-education-tutorials/fft-fast-fourier-transform-waveform-analysis.html> (accessed Apr. 08, 2024).
- [11] M. Fitri and D. D. Saputra, "Simulasi Putaran Kritis pada Poros dengan Beban Alat Uji Putaran Kritis Menggunakan Software ANSYS," *J. Unitek*, vol. 16, no. 1, pp. 103–114, 2023, doi: 10.52072/unitek.v16i1.561.
- [12] M. Barman, "Critical Speed Analysis of Rotor Shafts Using Campbell Diagrams," *J. Mech. Contin. Math. Sci.*, vol. 15, no. 7, pp. 675–683, 2020, doi: 10.26782/jmcms.2020.07.00059.
- [13] M. Bayat and H. L. Sørensen, "Evaluation of natural frequency, Campbell diagram and forced torsional vibration of deepwell pumps for the marine, oil and gas industry," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1909, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1909/1/012069.
- [14] 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.
- [15] F. Rachmanu, "Prediksi Getaran Pompa Rekondisi API 610 OH-4 Model 3900L dengan Solidworks," *J. Elektra*, 2016, [Online]. Available: <https://pei.e-journal.id/jea/article/view/10>
- [16] A. Saxena, A. Parey, and M. Chouksey, "Study of Modal Characteristics of a Geared Rotor System," *Procedia Technol.*, vol. 23, no. February, pp. 225–231, 2016, doi: 10.1016/j.protocy.2016.03.021.