

Identifikasi Penyebab Vibrasi yang Mengindikasikan *Blade Pass Frequency* (BPF) DI PT XX

Bobi Septian A Sianipar^{1*}, Abrar Ridwan², Sunaryo³

¹Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau
Jl. Tuanku Tambusai Kota pekanbaru, Indonesia

*Corresponding author: 210102088@student.umri.ac.id

Abstract

This study aims to analyze and identify the causes of high vibration indicating Blade Pass Frequency (BPF) in centrifugal pump 211-PM-9B at PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit II Dumai. The vibration problem emerged after bearing repair, where the highest vibration shifted from position 4P NDE H-ENV (25.39 mm/s on September 4, 2024) to position 3P DE V-VEL (10.64 mm/s on November 4, 2024). The research methodology employed vibration measurement using SKF Microlog Analyzer CMXA 75 and Fast Fourier Transform (FFT) spectrum analysis. The analysis results showed significant peaks at BPF frequency of 8700 CPM (145Hz) 3X RPM, indicating impeller unbalance as the primary cause. NPSH analysis indicated no systemic cavitation occurrence $NPSH_a > NPSH_r$, however, the possibility of local cavitation remains. Vibration trend monitoring results from October-December 2024 showed consistent fluctuation values above alert limits (7.62 mm/s) but still below danger limits (11.43 mm/s). Primary recommendations include dynamic balancing of the impeller according to ISO 10816 standards, comprehensive impeller blade inspection, and implementation of vibration-based predictive maintenance programs.

Keywords: *Vibration, Centrifugal Pump, Blade Pass Frequency (BPF), Impeller Unbalance, FFT Analysis.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengidentifikasi penyebab vibrasi tinggi yang mengindikasikan Blade Pass Frequency (BPF) pada pompa sentrifugal 211-PM-9B di PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit II Dumai. Masalah vibrasi muncul setelah perbaikan bearing, dimana vibrasi tertinggi berpindah dari posisi 4P NDE H-ENV (25,39 mm/s pada 4 September 2024) ke posisi 3P DE V-VEL (10,64 mm/s pada 4 November 2024). Metode penelitian menggunakan pengukuran vibrasi dengan SKF Microlog Analyzer CMXA 75 dan analisis spektrum Fast Fourier Transform (FFT). Hasil analisis menunjukkan puncak signifikan pada frekuensi BPF sebesar 8700 CPM (145Hz) 3X RPM, mengindikasikan ketidakseimbangan impeller sebagai penyebab utama. Analisis NPSH menunjukkan tidak terjadi kavitasi sistemik ($NPSH_a > NPSH_r$), namun kemungkinan kavitasi lokal tetap ada. Hasil monitoring tren vibrasi periode Oktober-Desember 2024 menunjukkan fluktuasi nilai yang konsisten di atas batas alert (7,62 mm/s) namun masih di bawah batas danger (11,43 mm/s). Rekomendasi utama meliputi dynamic balancing impeller sesuai standar ISO 10816 inspeksi menyeluruh bilah impeller, dan implementasi program pemeliharaan prediktif berbasis vibrasi.

Kata Kunci: Vibrasi, Pompa Sentrifugal, Blade Pass Frequency (BPF), Ketidakseimbangan Impeller, FFT.

1. Pendahuluan

Industri minyak dan gas berperan strategis dalam pemenuhan dan kebutuhan energi nasional terutama di Indonesia. Pompa sentrifugal yang merupakan salah satu peralatan vital di PT. XX. Oleh karena itu, pengetahuan dan pemahaman tentang perilaku jenis pompa sangat penting[1]. Juga pentingnya mengukur dan mengidentifikasi frekuensi getaran yang berbeda terkait dengan impeller pompa, poros berputar dan bantalan. Tantangan utama dalam proses mengoperasikan pompa

yang menyebabkan getaran pada pompa, yang di indikasikan oleh *Blade Pass Frequency* (BPF)[2].

Fenomena vibrasi pada pompa umumnya berkaitan dengan berbagai faktor mekanis. Seperti pada ketidakseimbangan impeller, gangguan aliran, hingga keausan pada bagian-bagian tertentu. Salah satu vibrasi yang sering muncul adalah *Blade Pass Frequency* (BPF). Yakni frekuensi yang di hasilkan akibat interaksi antara bilah impeller dengan aliran fluida. Vibrasi pada frekuensi ini menjadi indikator adanya ketidak normalan pada kondisi impeller atau

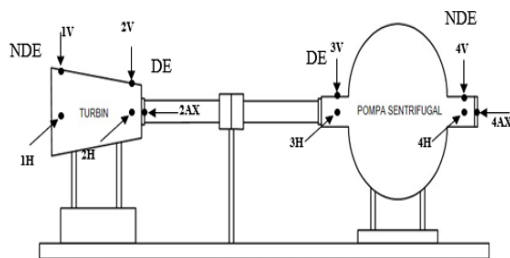
sistem aliran.

Vibrasi yang terjadi secara terus menerus tanpa penanganan dapat menimbulkan dampak serius. Penting untuk melakukan identifikasi secara menyeluruh terhadap penyebab vibrasi khususnya frekuensi BPF agar dapat dilakukan tindakan yang pasti. Penelitian ini difokuskan pada pompa 211-PM-9B. Dan penelitian ini baru pertama kali dilakukan untuk pompa tersebut.

2. Metode Penelitian

A. Sistem Pengukuran

Untuk mengukur vibrasi pompa, SKF Microlog Analyzer GX digunakan dengan menempelkan pen pada titik-titik DE dan NDE. Pengambilan data dilakukan di setiap arah aksial, vertikal, dan horizontal.



Gambar 1. Sistem pengukuran

Pengukuran DE (Drive End) dilakukan di lokasi yang dekat dengan penggerak mesin, pada housing bearing yang paling dekat dengan sumber gerak. Pengukuran NDE (Non-Drive End) dilakukan di lokasi yang lebih jauh dari penggerak, biasanya pada housing bearing yang terletak di sisi yang berlawanan.

B. Alat Ukur



Gambar 2. SKF Microlog Analyzer[3]

Pengukuran vibrasi dilaksanakan secara berkala dengan instrumen SKF Microlog Analyzer GX CMXA 75 yang terhubung dengan sensor CMSS2111[3]. Parameter getaran yang diukur meliputi yaitu simpangan (displacement), kecepatan (velocity), dan percepatan (acceleration). Pengukuran ini dilakukan dengan menentukan titik ukur, yaitu DE (Driven-End) dan NDE (Non Driven-End). DE adalah titik yang dekat dengan penggerak atau menerima beban, sedangkan NDE adalah bagian yang tidak menerima beban.

C. Proses Pengambilan Data

Untuk mengukur vibrasi, tahap-tahapan di bawah ini perlu diikuti pada pompa sentrifugal pada DE dan NDE:

1. Menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) seperti Coveral, sepatu safety, dan Helm.
2. Menyiapkan alat SKF Microlog Analyzer GX.
3. Setting alat SKF Microlog Analyzer GX.
4. Memastikan keamanan saat mengukur Vibrasi.
5. Menentukan lokasi posisi yang aman dalam mengukur vibrasi pada DE, NDE, dan letak arah Vertikal, Horizontal, dan Aksial pada pompa sentrifugal yang akan diukur vibrasinya.
6. Melakukan pengukuran dengan menempelkan pen pada alat SKF Microlog Analyzer GX ke Equipment yang diukur dan data virasinya akan muncul.
7. Jika pengukuran disemua titik sudah dilakukan, nilai vibrasinya disimpan pada memori alat SKF Microlog Analyzer GX.
8. Melakukan upload data hasil pengukuran ke software SKF Aptitude Analyst dan dilakukan analisa
9. Melakukan pengolahan data secara mandiri dan membuat Kesimpulan.

2.1 Pompa

Pompa merupakan jenis mesin fluida yang tugas utamanya adalah memindahkan

zat cair dari satu lokasi ke lokasi yang dituju[4]. Pompa sentrifugal bekerja berdasarkan prinsip gaya sentrifugal yang timbul dari rotasi impeller. Fluida memasuki pompa melalui saluran masuk (*inlet*), lalu diarahkan ke ruang *impeller*. Rotasi *impeller* kemudian menarik cairan ke sudu-sudu dan mendorongnya keluar melalui saluran keluar (*outlet*)[5].

2.2 Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa sentrifugal dicirikan oleh keberadaan *impeller* dan *inlet* sentral yang membentuk stukturanya. Desain ini memungkinkan gaya sentrifugal untuk mendorong cairan bergerak melingkar mengikuti bentuk *casing*. Fungsi utama *casing* adalah menurunkan kecepatan aliran fluida, dan mempertahankan kecepatan rotasi fluida. Kecepatan cairan diubah menjadi tekanan oleh *casing*, sehingga cairan bisa dialirkan menuju *outlet* [6].

2.3 Getaran (Vibration)

Getaran atau vibrasi didefinisikan sebagai gerakan osilasi suatu objek dari posisi diamnya. Getaran ini menghasilkan sinyal yang di kenal sebagai *waveform* [7]. Dalam konteks analisis vibrasi, spektrum yang terbentuk memberikan informasi mengenai penyebab vibrasi yang terjadi pada pompa sentrifugal.[8]

2.4 ketidakseimbangan (Unbalance)

Berbagai kerusakan dapat memicu vibrasi tinggi, salah satunya ketidakseimbangan (*unbalance*). Kondisi ini muncul ketika distribusi massa komponen tidak merata, menyebabkan pusat massa tidak sejajar dengan sumbu rotasi. *Unbalance* adalah suatu kondisi saat garis tengah geometri suatu poros dan garis tengah massa tidak berimpitan [9]. Garis geometri merupakan garis yang melewati antara poros dan bearing, sedangkan pusat massa adalah titik di mana massa terdistribusi secara merata.

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

2.5 Blade pass Frequency (BPF)

Vibrasi pada pompa dapat ditimbulkan oleh pulsasi tekanan, terkait

erat dengan *Blade pass Frequency (BPF)*. BPF adalah getaran yang di timbulkan karena reaksi hidrodinamik antara *impeller* dan disufer [10]. Radial *clearance* yang kecil memang bisa mengoptimalkan performa, *head*, dan efisiensi pompa, namun hal ini bisa menyebabkan gesekan intens antara *impeller* dan *volute*.

$$BPF = RPM \times Z \quad (2)$$

2.6 Kavitasasi

Kavitasasi adalah ketika gelembung uap terbentuk dalam cairan yang di pompa .ini disebabkan oleh penurunan tekanan cairan hingga di bawah tekanan uap jenuh pada suhu operasional pompa. Gelembung-gelembung uap ini memiliki siklus yang sangat singkat [11].

$$NPSHa = P_{suction} + \frac{v^2}{2g} - P_{vapor}$$

2.7 Vibration Analysis and Standards

Untuk mengidentifikasi berbagai jenis kerusakan mesin berdasarkan analisa getaran, dapat menggunakan ISO 10816 *Velocity* dan ISO Enveloping Severity Chart. ISO 10816 *Velocity* haya memberikan standar baku untuk kecepatan dan getaran yang merusak [12]. untuk kecepatan getaran yang merusak. Dapat di lihat gambar di bawah ini :

									>11	Broad-band Velocity [mm/s RMS] 10-1000Hz
									≤11	
									≤7.1	
									≤4.5	
									≤3.5	
									≤2.8	
									≤2.3	Foundation
									≤1.4	
rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible	rigid	flexible			
Pumps > 15kW (Radial, Axial and Mixed Flow)				Medium Sized Machines (15kW < P ≤ 300kW)		Large Sized Machines (300kW < P ≤ 40MW)				Machine Type
Integrated Driver		External Driver		Motors 160mm ≤ H < 315mm		Motors 315mm ≤ H				
Group 4		Group 3		Group 2		Group 1				Group

Gambar 1 Velocity 10816

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, menyajikan data pengukuran dan hasil perhitungan, dan dilanjutkan dengan diskusi tentang penyebab vibrasi pada pompa 211-PM-9B.

3.1 Hasil Pengukuran pompa

Pada tanggal 4 September 2024, vibrasi tertinggi terdeteksi di posisi 4P NDE

H-ENV dengan amplitudo 25,39 mm/s. Nilai ini jauh melebihi batas *danger* (11,43 mm/s). Terdapat kerusakan serius, khususnya pada *deflector* seperti yang disebutkan di latar belakang dan sudah melakukan perbaikan.

Setelah perbaikan pada *deflector*. Tanggal 4 November 2024, di lakukan pengukuran ulang pada pompa tersebut. Vibrasi tertinggi berpindah ke posisi 3P DE V-VEL dengan amplitudo 10,64 mm/s. Meskipun lebih rendah dari sebelumnya, nilai ini masih mendekati batas *danger* (11,43 mm/s) dan jauh di atas batas *alert* (7,62 mm/s).

Table1. hasil pengukuran

Titik Pengukuran	Tanggal Pengukuran			
	04-Nov-24	03-Nov-24	02-Nov-24	04-Sep-24
3P DE V-VEL	10,64 mm/s	10,46 mm/s	9,85 mm/s	4,82 mm/s
4P NDE V-VEL	10,69 mm/s	9,21 mm/s	8,65 mm/s	5,17 mm/s
4P NDE H-ENV	1,99 mm/s	1,86 mm/s	2,01 mm/s	25,39 mm/s
4P NDE H-ACC	0,59 mm/s	0,46 mm/s	0,43 mm/s	5,72 mm/s

3.2 Analisis Blade Pass Frequency (BPF)

Perhitungan BPF sangat fundamental dalam analisa vibrasi pompa

$$BPF = RPM \times Z$$

$$BPF = 2900 \text{ RPM} \times 3 = 8700 \text{ CPM}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Blade Pass Frequency* (BPF) untuk pompa 211-PM-9B adalah 8700 CPM. Nilai ini menjadi acuan penting dalam analisis spektrum vibrasi.

3.3 Perhitungan ketidakseimbangan Impeler (*Unbalance*)

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 2973 \text{ RPM}}{60} \approx 311,3 \text{ rad/s}$$

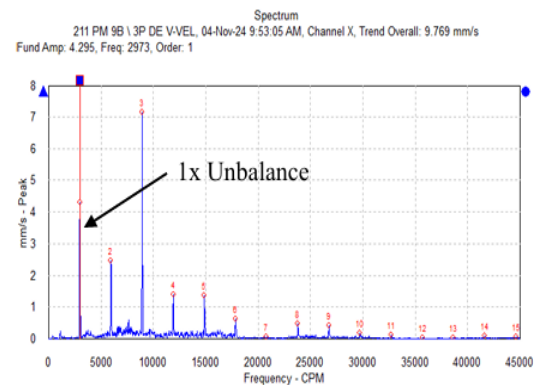
$$F = 0,1 \text{ kg} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot (311,3 \text{ rad/s})^2 = 1453,85 \text{ N}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya sentrifugal yang timbul akibat ketidakseimbangan massa pada *Impeller* mencapai nilai signifikan 1453,85 N. Gaya

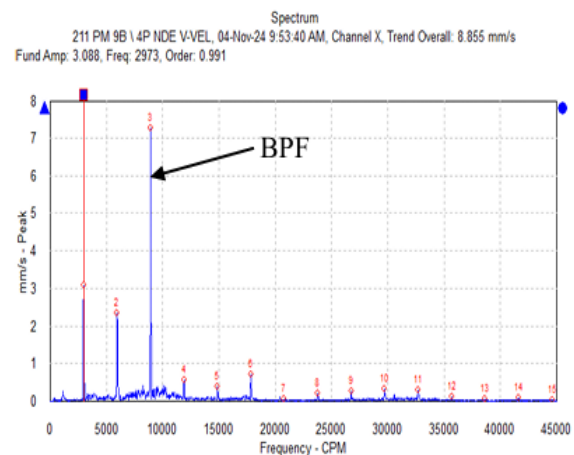
eksentris ini, setara dengan beban 148 kg, secara langsung memicu getaran vertikal yang dominan pada posisi 3P DE V-VEL. Tingginya *Unbalance* ini salah satu faktor utama terhadap amplitudo vibrasi yang terdeteksi, terutama pada frekuensi 1X RPM.

3.4 Spektrum Vibrasi Pompa 211-PM-9B

Selain komponen 1X dan 2X RPM, terdapat pula puncak amplitudo yang signifikan pada frekuensi sekitar 3X RPM 8700 CPM (145 HZ), yang secara relatif lebih tinggi dibandingkan dengan noise floor. Puncak ini diikuti oleh harmonik 4X dan 5X RPM.



Gambar 4. Spektrum vibrasi Poin 3P DE V-VEL



Gambar 5. Spektrum vibrasi Poin 4P NDE V-VEL

Dengan amplitudo masing-masing di atas 20% dari amplitudo komponen 3X RPM. Pola ini merupakan indikasi khas dari fenomena *Blade Pass Frequency* (BPF), yaitu getaran yang ditimbulkan oleh interaksi periodik sudu impeller dengan

fluida atau komponen stasioner di sekitarnya.

3.5 Hasil Analisis dan Penyebab Getaran

3.5.1 Penyebab Langsung

1. Gangguan Hidraulik.

Gangguan dalam aliran fluida merupakan pemicu langsung vibrasi, terutama pada frekuensi tinggi seperti BPF. Kondisi seperti turbulensi, penyumbatan parsial dalam jalur aliran, atau masalah pada distribusi aliran di dalam casing atau sekitar *impeller* dapat menciptakan fluktuasi tekanan yang beresilasi pada bilah *impeller*.

2. Kavitasi Lokal.

Meskipun analisis NPSH menunjukkan bahwa pompa beroperasi dengan NPSHa yang memadai untuk mencegah kavitasi sistem secara umum $NPSHa > NPSHr$, kavitasi lokal tetap menjadi penyebab langsung yang signifikan. di area ini menghasilkan gelombang kejut bertekanan tinggi yang menyebabkan getaran signifikan pada frekuensi tertentu, termasuk BPF, serta dapat mengakibatkan kerusakan fisik pada permukaan *impeller*, *pitting* atau erosi.

3. Blade Pass Frequency (BPF).

Puncak dominan pada frekuensi BPF 8700 CPM di spektrum vibrasi Gambar 4.2 menunjukkan adanya interaksi hidraulik yang tidak optimal antara *impeller* dan casing. Kondisi ini dapat diperparah oleh ketidakseimbangan *impeller* itu sendiri, yang menyebabkan *impeller* bergerak eksentris dan menciptakan gangguan aliran periodik, atau adanya kerusakan/deformasi pada bilah *impeller* erosi, korosi, atau retak.

3.5.2 Penyebab Tidak Langsung

1. Ketidakseimbangan Dinamis Impeller.

Penyebab tidak langsung yang paling dominan dalam kasus ini, yang mengarah pada terjadinya gangguan hidraulik dan peningkatan vibrasi 1X RPM yang signifikan. Misalnya akibat erosi, korosi, atau kavitasi lokal yang

berkepanjangan. Kerusakan fisik retak atau patah bilah. ini termasuk potensi pada *Blade Pass Frekuensi (BPF)*.

2. Keausan Komponen Mekanis Lain

Komponen mekanis lain dalam sistem pompa, seperti *bearing* dan *sealing*, dapat mengalami keausan seiring waktu. Meskipun masalah *bearing* awal telah diatasi, keausan pada komponen lain dapat memperburuk ketidakseimbangan yang sudah ada atau menciptakan celah yang tidak diinginkan dan mungkin memengaruhi dinamika aliran yang menyebabkan BPF.

3. Faktor Operasional

Kondisi operasional pompa dapat secara tidak langsung memengaruhi level vibrasi. Meskipun pompa beroperasi pada *rated capacity* (464,1 m³/h), fluktuasi dalam parameter proses atau operasi di luar titik efisiensi terbaik (*off-design operation*) dapat menyebabkan peningkatan beban hidraulik, turbulensi aliran, atau *stress* termal pada komponen, meningkatkan vibrasi.

3.6 Solusi dan rekomendasi

1. Blancing Impeller

Melakukan *rebalancing impeller* secara khusus dan menyeluruh adalah langkah korektif paling krusial untuk mengatasi masalah vibrasi yang disebabkan oleh ketidakseimbangan. Fokus utama harus diberikan pada sisi *Drive End (DE)* pompa, di mana vibrasi vertikal menunjukkan amplitudo tertinggi. toleransi yang diizinkan oleh standar ISO 10816.

2. Inspeksi Blade Impeller

inspeksi visual dan non-destruktif (NDT) pada bilah *impeller* sangat direkomendasikan. Inspeksi ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya erosi, korosi, retakan, atau deformasi yang dapat menyebabkan gangguan aliran dan memperburuk.

3. Pemeliharaan dan Monitoring

Untuk mencegah terulangnya masalah vibrasi dan meningkatkan keandalan jangka panjang pompa, program pemeliharaan yang komprehensif perlu diimplementasikan.

1. Inspeksi Komponen Pompa Menyeluruh Secara Berkala.
2. Analisis Vibrasi Periodik Lanjutan.
3. Optimalisasi Kondisi Operasional.

Dengan implementasi solusi dan rekomendasi ini secara sistematis, diharapkan vibrasi pada Pompa 211-PM-9B dapat dikendalikan dan dikurangi hingga batas yang dapat diterima, sehingga dapat meningkatkan keandalan operasional, memperpanjang umur komponen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data vibrasi, data operasional, dan perhitungan teknis yang komprehensif pada Pompa Sentrifugal 211-PM-9B, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

Dominasi ketidakseimbangan impeller sebagai penyebab utama vibrasi penyebab dominan vibrasi tinggi pada pompa 211-PM-9B, terutama setelah perbaikan *deflector* pada 4 september 2024, adalah ketidakseimbangan dinamis pada *impeller*.

Frekuensi *Blade Pass Frequency* (BPF) sebesar 8700 cpm teridentifikasi sebagai puncak dominan pada spektrum vibrasi, sebagaimana terlihat pada gambar 4.2. Kehadiran BPF yang tinggi ini secara langsung mengindikasikan adanya masalah interaksi hidraulik antara *impeller* dan *casing*, yang dapat timbul dari kerusakan bilah *impeller* atau gangguan aliran.

Efektivitas perbaikan awal dan urgensi tindak lanjut perbaikan *deflector* yang dilakukan pada 4 september 2024 berhasil mereduksi vibrasi ekstrem di 4P NDE H-ENV dari 23,54 mm/s menjadi kondisi yang lebih stabil. Namun, kemunculan vibrasi tinggi yang persisten di 3P DE V-VEL (9,77 mm/s) pada 4 november 2024 pasca-perbaikan menegaskan bahwa akar masalah pada.

Referensi

- [1] M. H. Garousi, M. Karimi, P. Casoli, M. Rundo, And R. Fallahzadeh, "Vibration Analysis of A Centrifugal Pump With Healthy And Defective Impellers And Fault Detection Using Multi-Layer Perceptron," *Eng*, Vol. 5, No. 4, Pp. 2511–2530, Dec. 2024, Doi: 10.3390/Eng5040131.
- [2] A. I. Ari, D. Djoko Susilo, And Z. Arifin, "Deteksi Kerusakan Impeler Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran," 2013.
- [3] M. Gavlas, M. Drbul, V. Dekys, And M. Saga, "Effect Of Vibration On Machine Tool Accuracy And Lifetime," *Matec Web Of Conferences*, Vol. 357, P. 05003, 2022, Doi: 10.1051/Mateconf/202235705003.
- [4] "Abi Wahyudi 4tmma Analisa Sinyal Vibrasi Untuk Mendekteksi Kerusakan Pada Condensate Pump Di PLTU Air Anyir Bangka 2".
- [5] A. Susan Silitonga, A. Rahayu Agustini, T. Konversi Energi, T. Mesin, And P. Negeri Medan, "Performansi Vibrasi Pompa Pada Pompa Steam Condensate Pump (G-2707)."
- [6] M. A. Siregar And W. S. Damanik, "Pengaruh Variasi Sudut Keluar Impeler Terhadap Performance Pompa Sentrifugal," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, Vol. 3, No. 2, Pp. 166–174, Sep. 2020, Doi: 10.30596/Rmme.V3i2.5278.
- [7] Oleh, "Analisis High Vibration Pada Pompa Tag No. 140-P-2a Di Pt Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit Ii Dumai, Riau Laporan Kerja Praktik," 2024.
- [8] J. J. Thomsen, *Vibrations and Stability: Advanced Theory, Analysis, And Tools*. Springer, 2021. Doi: 10.1007/978-3-030-68045-9.
- [9] P. Busono and S. Pujiarta, "Analisis Penyebab Terjadinya Vibrasi Pompa Sistem Pendingin Sekunder Pa-02

- Ap001,” 2021. [Online]. Available: [Http://jurnal.Batan.Go.Id/Idex/Php/Bprn](http://jurnal.batan.go.id/index.php/bprn)
- [10] L. Bai, L. Zhou, X. Jiang, Q. Pang, And D. Ye, “Vibration in A Multistage Centrifugal Pump Under Varied Conditions,” *Shock And Vibration*, Vol. 2019, 2019, Doi: 10.1155/2019/2057031.
- [11] B. Syahputra, I. Isranuri, S. Abda, And A. Hamsi, “Studi Eksperimental Deteksi Fenomena Kavitasi Pada Pompa Distilasi Dengan Menggunakan Sinyal Spektrum Getaran,” *Jurnal E-Dinamis*, Vol. 5, No. 3, 2017.
- [12] F. Budianto Panjaitan, D. Suryadi, J. W. Supratman, K. Limun, And K. Muara Bangkahulu, “Analisis Vibrasi Pada Pompa Vibration Analysis Of The Pump,” 2023.
- [13] W. W. Saputri Alfira, “Analisis Predictive Maintenance Pada Motor High Pressure Oil Pump (Hp Oil Pump) Dengan Monitoring Vibrasi Di Pltu Barru,” 2023.
- [14] Z. Anwar, “Fan Driver Replacement Pada Fraksinasi Sistem Hydrocracking,” *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, Vol. 13, No. 2, Des 2024, Doi: 10.24127/Trb.V13i2.3619.
- [15] M. A. Pulungan, S. M. Benu, S. Siahaan, C. A. Siti, Dan M. Benu, “Jurnal Pendidik Indonesia,” 2022