ANALISIS GETARAN DAN KETIDAKSEJAJARAN PADA POMPA SENTRIFUGAL: IDENTIFIKASI KERUSAKAN PADA RUBBER COUPLING

VIBRATION AND MISALIGNMENT ANALYSIS OF CENTRIFUGAL PUMPS: RUBBER COUPLING DAMAGE IDENTIFICATION

Oldy Fahlovi[1)*], Syahri Ramadhan[1)], Hendra Setyawan[1)]
[1)] Teknologi Mesin Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten,
Jl. Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kec. Anyar, Kabupaten Serang, Banten 42166
[*]email corresponding: oldy.fahlovi@poltek-petrokimia.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
15/05/2025

Diterima:
Accepted
28/05/2025

Publikasi Online:
Online-Published
28/06/2025

ABSTRAK

Kerusakan pada rubber coupling pompa sentrifugal dapat menyebabkan gangguan serius seperti peningkatan getaran, misalignment, serta penurunan efisiensi operasional. Studi ini bertujuan menganalisis penyebab utama kerusakan rubber coupling dan mengidentifikasi faktor-faktor mekanis yang memengaruhi umur pakainya. Metode yang digunakan meliputi inspeksi visual, pengukuran alignment menggunakan metode rim and face, serta analisis getaran dengan vibration analyzer yang dipasang pada titik strategis sistem pompa. Hasil menunjukkan bahwa rubber coupling mengalami kerusakan akibat kombinasi radial misalignment sebesar +0,25 mm dan angular misalignment sebesar -0,08 mm, melebihi batas toleransi standar. Data getaran juga menunjukkan adanya peningkatan signifikan hingga lebih dari 6,5 mm/s RMS, terutama pada arah horizontal, yang mengindikasikan adanya gangguan dinamis seperti ketidakseimbangan dan ketidaksejajaran poros. Spektrum vibrasi memperlihatkan dominasi frekuensi sekitar 1500–1600 CPM dengan amplitudo tinggi, memperkuat bukti kegagalan mekanis akibat beban dinamis berulang. Intervensi melalui perbaikan alignment terbukti menurunkan nilai vibrasi secara drastis dan mengembalikan kestabilan sistem.

***Kata Kunci** : rubber coupling, pompa sentrifugal, vibrasi, misalignment, perawatan*

ABSTRACT

Damage to the rubber coupling of a centrifugal pump can cause serious disruptions such as increased vibration, misalignment, and decreased operational efficiency. This study aims to analyze the main causes of rubber coupling damage and identify mechanical factors that affect its lifespan. The methods used include visual inspection, alignment measurement using the rim and face method, and vibration analysis with a vibration analyzer installed at strategic points of the pump system. The results showed that the rubber coupling was damaged due to a combination of radial misalignment of +0.25 mm and angular misalignment of -0.08 mm, exceeding the standard tolerance limit. Vibration data also showed a significant increase to more than 6.5 mm/s RMS, especially in the horizontal direction, indicating dynamic disturbances such as shaft imbalance and misalignment. Vibration spectra showed a predominance of frequencies around 1500-1600 CPM with high amplitude, reinforcing the evidence of mechanical failure due to repetitive dynamic loads. Intervention through improved alignment was shown to drastically reduce vibration values and restore system stability.

***Keywords** : rubber coupling, centrifugal pump, vibration, misalignment, maintenance*

©2025 The Authors. Published by AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

10.53893/austenit.v17i1.10629

1 PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal adalah peralatan yang sangat penting di berbagai sektor industri seperti petrokimia, pengolahan air, minyak dan gas, serta manufaktur. Peran utamanya dalam memindahkan fluida secara mekanis menjadikan kinerja pompa ini krusial untuk menjaga kelancaran proses operasional di berbagai sistem industri (Chen et al., 2022; Sunal et al., 2022; Zaman et al., 2023).

Salah satu komponen penting yang mendukung operasional pompa sentrifugal adalah *rubber coupling*, yang berfungsi menghubungkan poros motor dan poros pompa, sekaligus meredam getaran dan hentakan yang terjadi saat transfer daya. Komponen ini juga berperan penting dalam menjaga keselarasan putaran antara motor dan pompa (Güner & Özbayer, 2019; Novotny et al., 2017; Ukpaka & Nkoi, 2020).

Meskipun *rubber coupling* dirancang untuk tahan terhadap kondisi kerja yang berat seperti getaran dan variasi beban, kerusakan tetap sering terjadi akibat berbagai faktor, seperti *misaligment* dan vibrasi berlebih. Kerusakan ini dapat memicu berbagai masalah operasional, salah satunya adalah penurunan kecepatan putaran pompa. Penurunan ini tidak hanya memengaruhi kemampuan pompa dalam memindahkan fluida, tetapi juga berdampak pada efisiensi keseluruhan sistem (Ghorbel et al., 2021; Mallioris et al., 2024; Nugraha et al., 2016; Qin et al., 2019).

Kerusakan *rubber coupling* yang menyebabkan penurunan kinerja pompa dapat berdampak besar pada proses produksi, termasuk *downtime*, biaya perbaikan, serta potensi kerugian akibat gangguan aliran fluida. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana kerusakan pada *rubber coupling* dapat berkontribusi terhadap penurunan kecepatan putaran pompa sentrifugal serta bagaimana mekanisme kerusakan tersebut terjadi. Pengetahuan ini penting untuk mengembangkan strategi pemeliharaan yang lebih efektif, sehingga kerusakan bisa diantisipasi sebelum menyebabkan masalah yang lebih serius (Eaton et al., 2022; Ranawat et al., 2021; Zheng et al., 2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerusakan *rubber coupling* yang terjadi pada pompa sentrifugal dan dampaknya terhadap efisiensi pompa tersebut serta merumuskan solusi yang efektif mengenai prosedur perawatan dan pemasangan yang tepat agar dapat memperpanjang umur pakai *rubber coupling*.

2. BAHAN DAN METODA

Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan langsung di PT. X pada tanggal 27 September 2023 sampai dengan tanggal 19 November 2024 untuk mencatat *historical lifetime rubber coupling* dari awal pemasangan *rubber copling* dan hingga saat *rubber coupling* terjadi kerusakan. Pengambilan data *alignment* pada pompa sentrifugal, dan pengambilan data *vibrasi* saat sebelum terjadi kerusakan.

Pengambilan data *alignment* diukur menggunakan *dial indicator* menggunakan metode *Rim and Face* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pengambilan data *alignment* dilakukan secara periodik setiap 100 jam operasi mesin atau ketika terdapat indikasi awal ketidaksejajaran seperti peningkatan getaran abnormal atau suhu *bearing* yang tidak normal. Pengukuran dilakukan menggunakan *dial indicator* dengan akurasi 0.01 mm untuk memantau perubahan posisi relatif antar poros secara radial dan aksial. Data dicatat ke dalam *log sheet* inspeksi dan dianalisis untuk mendeteksi tren pergeseran *alignment* dari waktu ke waktu. Pendekatan ini dipilih untuk menyeimbangkan antara akurasi pemantauan kondisi dan efisiensi waktu dalam praktik industri. Titik yang dilakukan pengukuran adalah titik pada posisi jam 3 (P1), jam 6 (P2), jam 9 (P3), dan jam 12 (P4). Setiap titik dilakukan pengujian sebanyak 3 kali, lalu dirata-rata untuk mendapatkan hasil pengujian yang sesuai.



Gambar 1. Pengukuran *Misalignment* menggunakan *dial indicator* pada arah radial menggunakan metode *Rim and Face*

Pengukuran getaran adalah metode efektif untuk memantau kondisi mesin selama *start up*, *shutdown* dan operasi normal. Analisis getaran digunakan terutama pada *rotating equipmen*t seperti pompa, motor, turbin, kompresor, *gearbox* dan lain-lain. *Vibration analizer* digunakan pada pengujian dimana alat ini dapat mengumpulkan, merekam dan memperlihatkan data getaran seperti spektrum FFT untuk mempermudah identifikasi komponen frekuensi dalam sinyal, seperti amplitudo dan frekuensi dominan, *plot trend* keseluruhan dan bentuk gelombang *domain* waktu.

Pengukuran getaran dilakukan secara periodik, yaitu setiap 24 jam sekali, dimulai sejak *rubber coupling* terpasang hingga terjadi kerusakan. Pengujian ini menggunakan *vibration analyzer* seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Alat ini mampu merekam data dalam bentuk *FFT*

(Fast Fourier Transform) spectrum, *time waveform*, dan *overall trend vibration*. Alat ini memiliki rentang frekuensi pengukuran hingga 51,2 kHz dan dilengkapi sensor akselerometer dengan sensitivitas 100 mV/g. Data direkam secara otomatis di dalam memori internal perangkat, lalu ditransfer ke perangkat lunak analisis untuk dievaluasi. Pengukuran dilakukan pada titik kritis seperti *housing bearing* dan area kopling untuk mendeteksi gejala ketidaksejajaran, kerusakan bearing, atau ketidakseimbangan. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* dan tren kerusakan secara komprehensif.



Gambar 2. *Vibration Analyzer*

Metode pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *vibration analyzer* yang dipasang pada titik-titik strategis pompa sentrifugal, yaitu pada bagian motor, kopling, dan pompa itu sendiri, baik di arah horizontal, vertikal, maupun aksial. Pengambilan data dilakukan dalam kondisi pompa beroperasi untuk mendapatkan representasi nyata dari kondisi dinamis sistem. Nilai vibrasi diukur dalam satuan kecepatan (mm/s) dan dianalisis menggunakan spektrum frekuensi untuk mengidentifikasi adanya kelainan seperti *misalignment*, *unbalance*, atau kerusakan *bearing*. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar ISO 10816 untuk menilai tingkat keparahan getaran dan menentukan apakah kondisi mesin masih dalam batas aman operasi atau memerlukan tindakan pemeliharaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan visual terhadap komponen *rubber coupling* yang mengalami kerusakan (**gambar 3**), ditemukan adanya pecahan-pecahan elemen elastomer yang terfragmentasi menjadi potongan-potongan kecil tidak beraturan. Pola kerusakan ini mengindikasikan terjadinya kegagalan material akibat *fatigue* mekanis dan/atau kelebihan beban dinamis berulang yang terjadi selama operasi sistem rotasi.

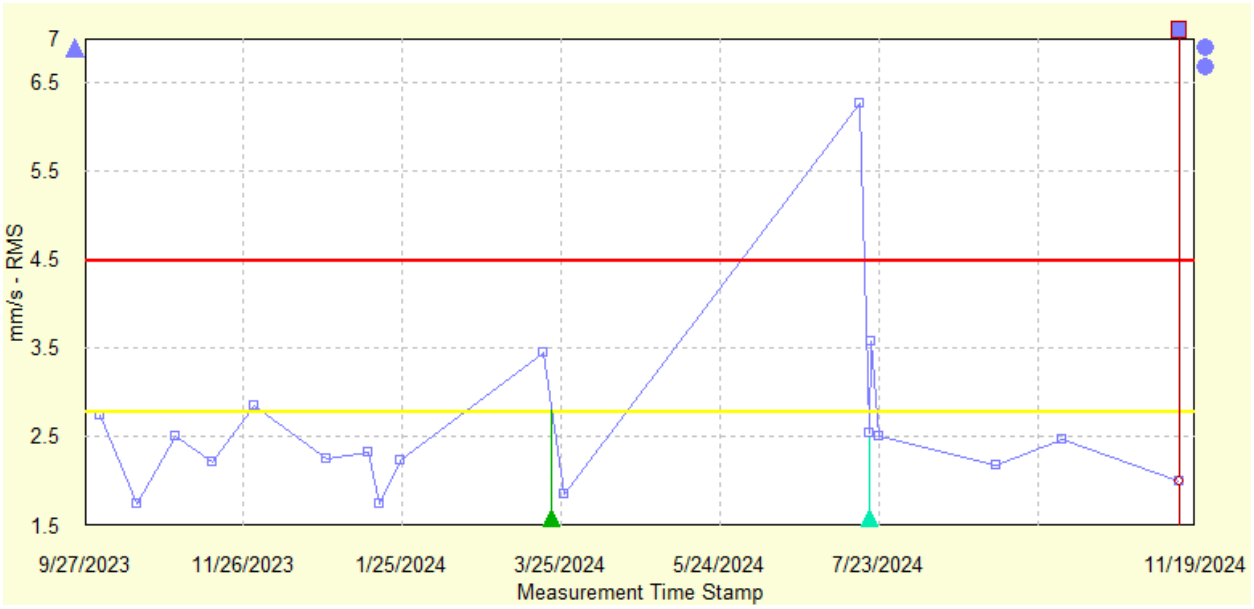


Gambar 3. *Kerusakan Rubber coupling*

Kerusakan *rubber coupling* yang ditemukan menunjukkan bahwa kegagalan tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan merupakan hasil dari akumulasi tegangan mekanis yang tidak tertangani dengan baik.

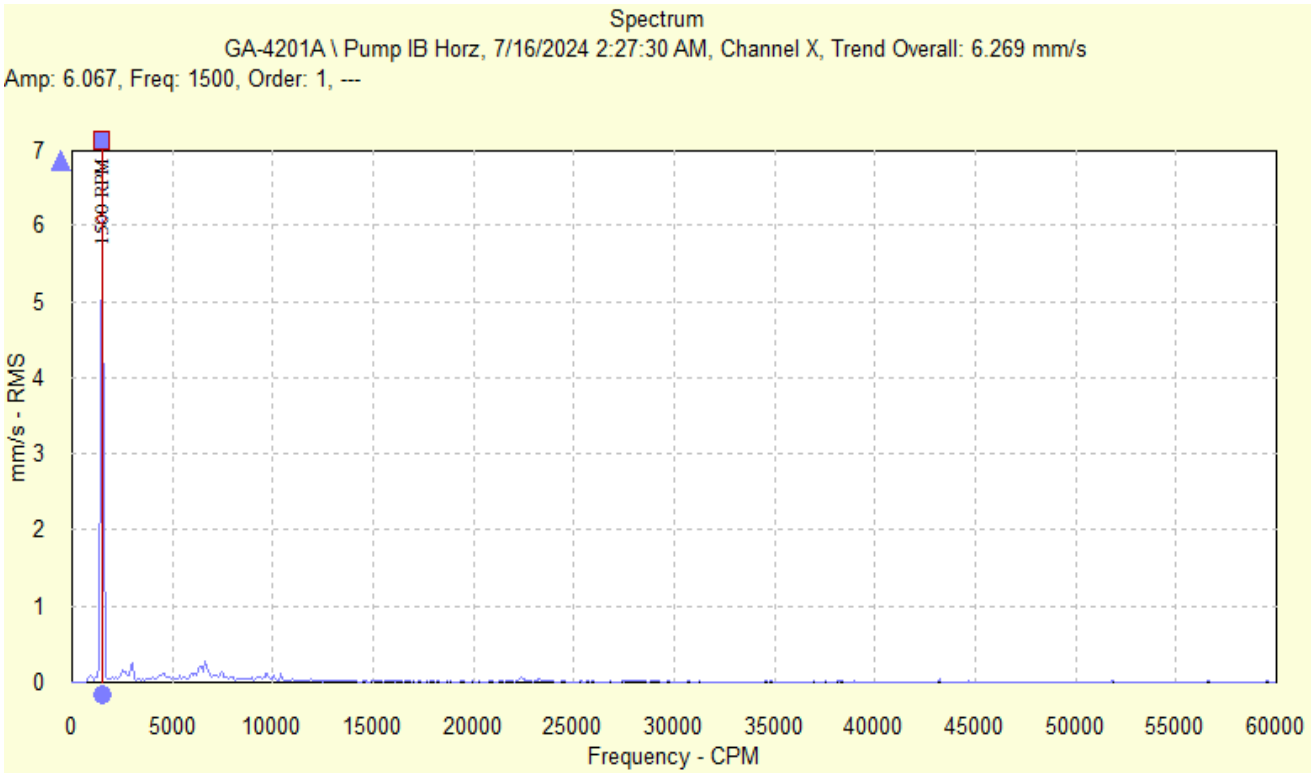
Data pemantauan vibrasi pada pompa pada Gambar 4 menunjukkan pola fluktuasi yang mencerminkan perubahan kondisi mekanis sepanjang periode 27 September 2023 hingga 19 November 2024. Pada awal pengukuran hingga awal Maret 2024, nilai getaran berada dalam rentang 1.7 hingga 2.7 mm/s RMS, yang secara konsisten berada di bawah ambang *warning* (2.8 mm/s). Nilai ini mencerminkan kondisi operasi yang stabil. Namun, setelah titik pengukuran pada Maret 2024, terjadi peningkatan signifikan yang memuncak pada pengukuran bulan Juli 2024, dengan nilai melebihi 6.5 mm/s dan melampaui ambang batas *danger* (4.5 mm/s). Kenaikan ini berlangsung secara progresif dan menunjukkan karakteristik getaran yang umumnya terkait dengan gangguan mekanis berat.

Setelah penggantian *rubber coupling* pada Juli 2024, nilai getaran menurun drastis dan kembali ke kisaran 2.0 hingga 2.5 mm/s, di bawah ambang *warning*, serta mempertahankan kestabilan hingga pengukuran terakhir pada November 2024. Berdasarkan kronologi data, dapat disimpulkan bahwa terjadi degradasi kondisi mekanis secara bertahap yang berpuncak pada pertengahan tahun 2024, kemudian berhasil dikendalikan setelah dilakukannya tindakan perbaikan. Pola ini menunjukkan adanya perubahan signifikan terhadap kondisi dinamis mesin yang dapat dikaitkan secara temporal dengan aktivitas pemeliharaan.



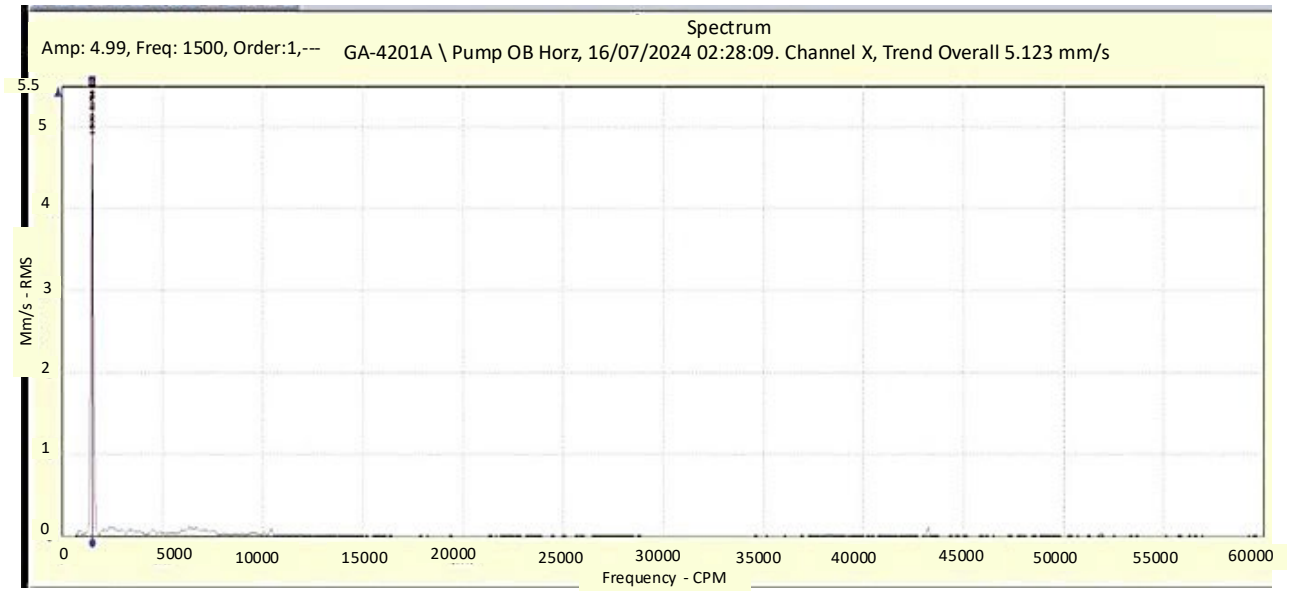
Gambar 4. *Data Hasil Pengukuran Vibrasi*

Berdasarkan hasil pengukuran spektrum vibrasi pada pompa, terlihat adanya perbedaan signifikan dalam nilai amplitudo dan frekuensi dominan pada beberapa titik pengukuran. Pada spektrum pertama (*Pump Inboard Horizontal*), terlihat puncak dominan pada frekuensi 1500 CPM dengan amplitudo 6,067 mm/s RMS dan tren keseluruhan sebesar 6,269 mm/s. Ini menunjukkan getaran signifikan yang kemungkinan berkaitan dengan *unbalance* atau *misalignment* pada komponen *rotating*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.



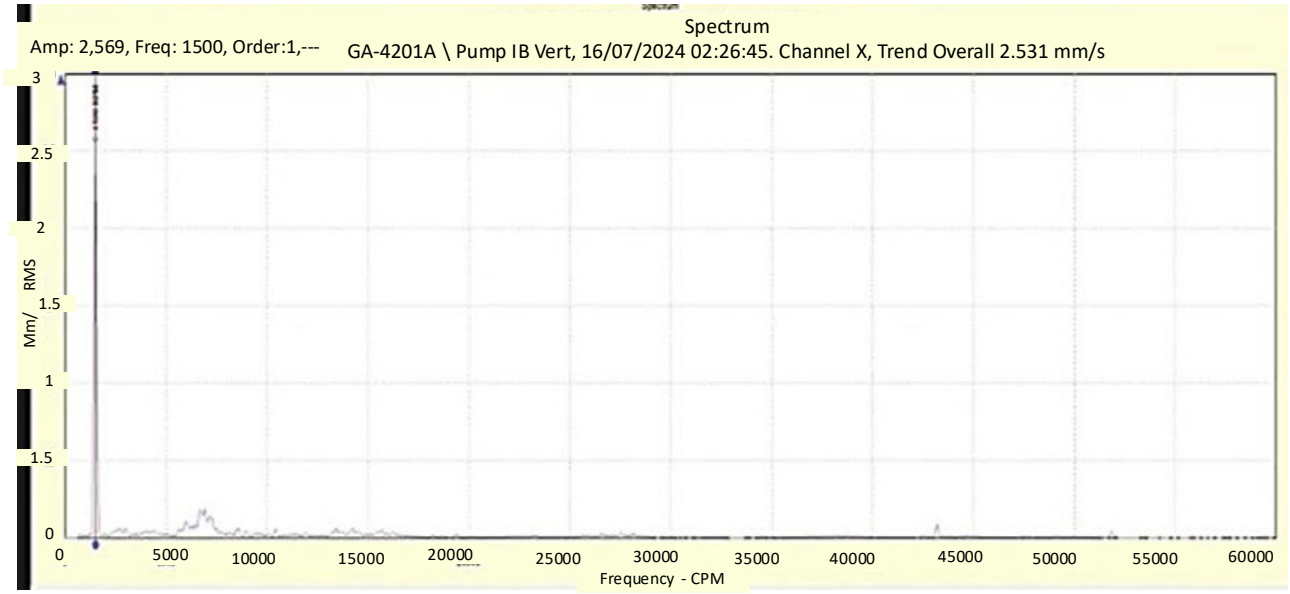
Gambar 5. *Data Spektrum Inboard Horizontal*

Pada spektrum kedua (*Pump Outboard Horizontal*), puncak utama juga berada pada frekuensi 1500 CPM dengan amplitudo sebesar 4,99 mm/s RMS dan tren keseluruhan 5,123 mm/s. Meskipun sedikit lebih rendah dari sisi *inboard*, ini tetap menunjukkan adanya getaran signifikan yang cenderung selaras dengan frekuensi putaran utama pompa, yang mengindikasikan kemungkinan masalah mekanis umum seperti ketidakseimbangan atau pelurusan poros. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.

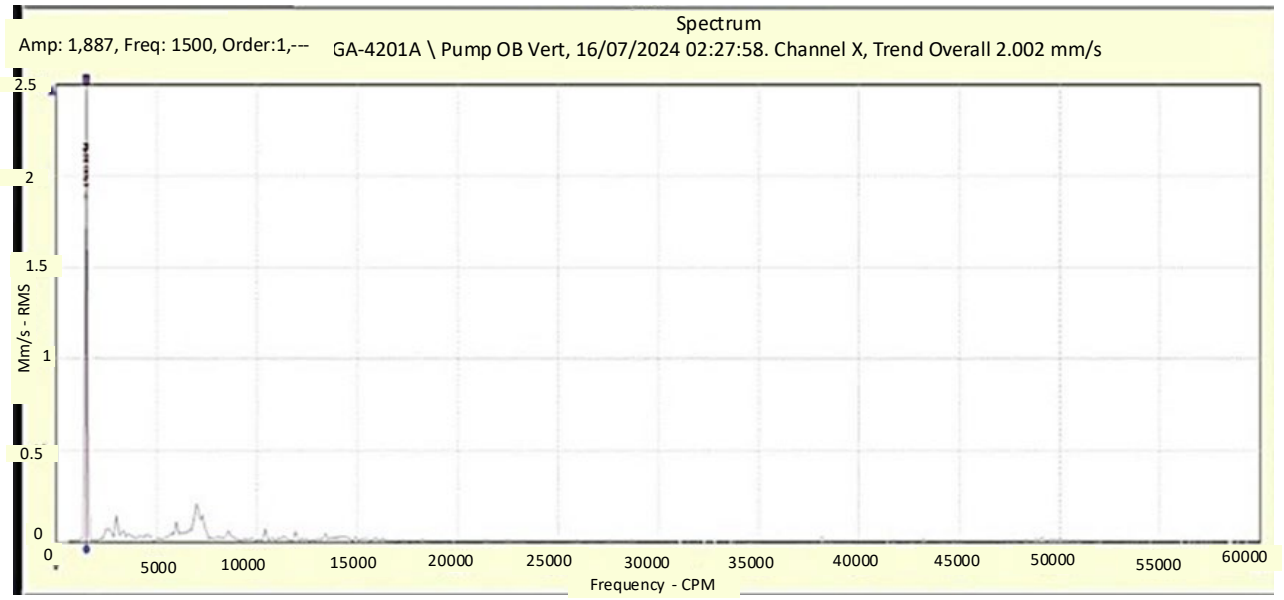


Gambar 6. *Data Spektrum Outboard Horizontal*

Sementara itu, spektrum ketiga dan keempat masing-masing mewakili arah vertikal pada sisi *inboard* dan *outboard*. Amplitudo di sisi *inboard* vertikal tercatat sebesar 2,569 mm/s RMS, sedangkan di sisi *outboard* vertikal sebesar 1,887 mm/s RMS. Keduanya menunjukkan tren getaran yang lebih rendah dibandingkan arah horizontal, namun tetap memperlihatkan adanya energi vibrasi pada frekuensi putaran (1X), mengindikasikan respons terhadap gaya-gaya dinamis yang ditransmisikan secara vertikal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

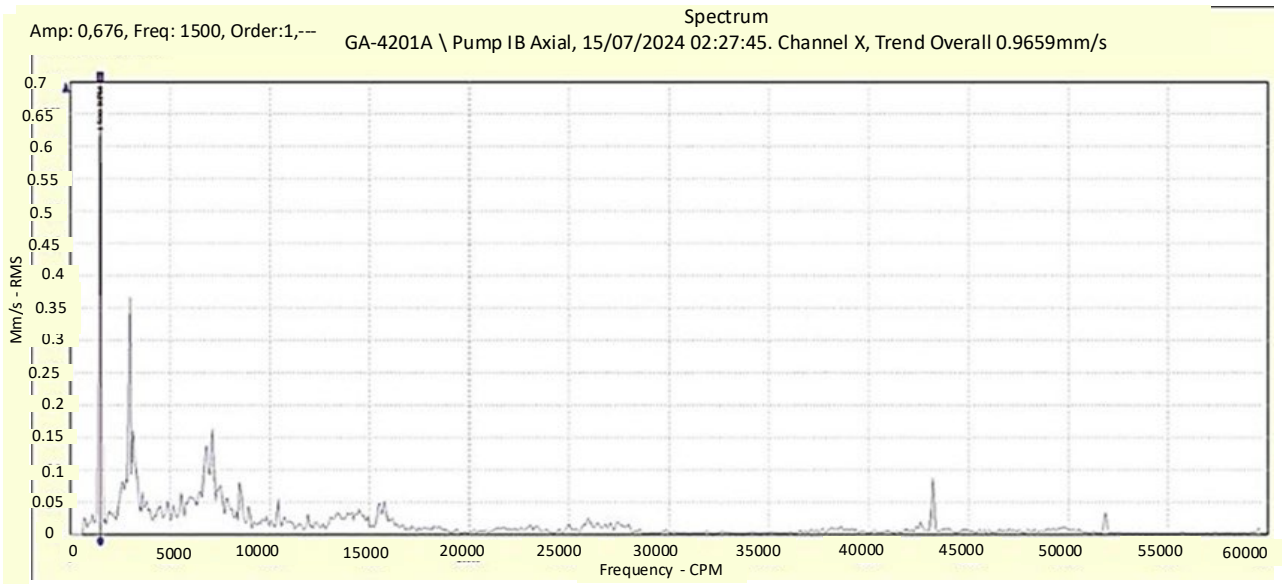


Gambar 7. *Data Spektrum Inboard Vertikal*

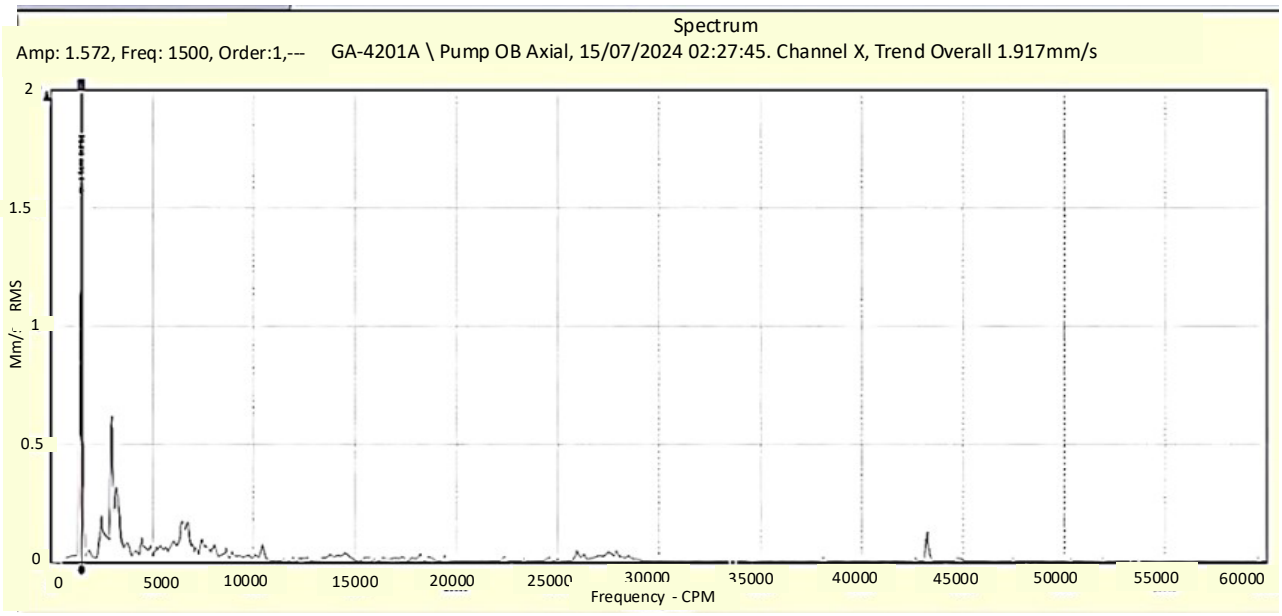


Gambar 8. *Data Spektrum Outboard Vertikal*

Spektrum kelima (*Pump Inboard Aksial*) menunjukkan amplitudo sebesar 0,676 mm/s RMS pada frekuensi 1500 CPM, dengan tren keseluruhan 0,9659 mm/s. Energi vibrasi yang relatif rendah ini mengindikasikan tidak dominannya gaya aksial dalam kasus ini. Namun, spektrum keenam (*Pump Outboard Aksial*) mencatatkan amplitudo yang jauh lebih besar yaitu 1,572 mm/s RMS dan tren 1,917 mm/s, memperkuat indikasi bahwa arah aksial tidak menjadi saluran utama transmisi vibrasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

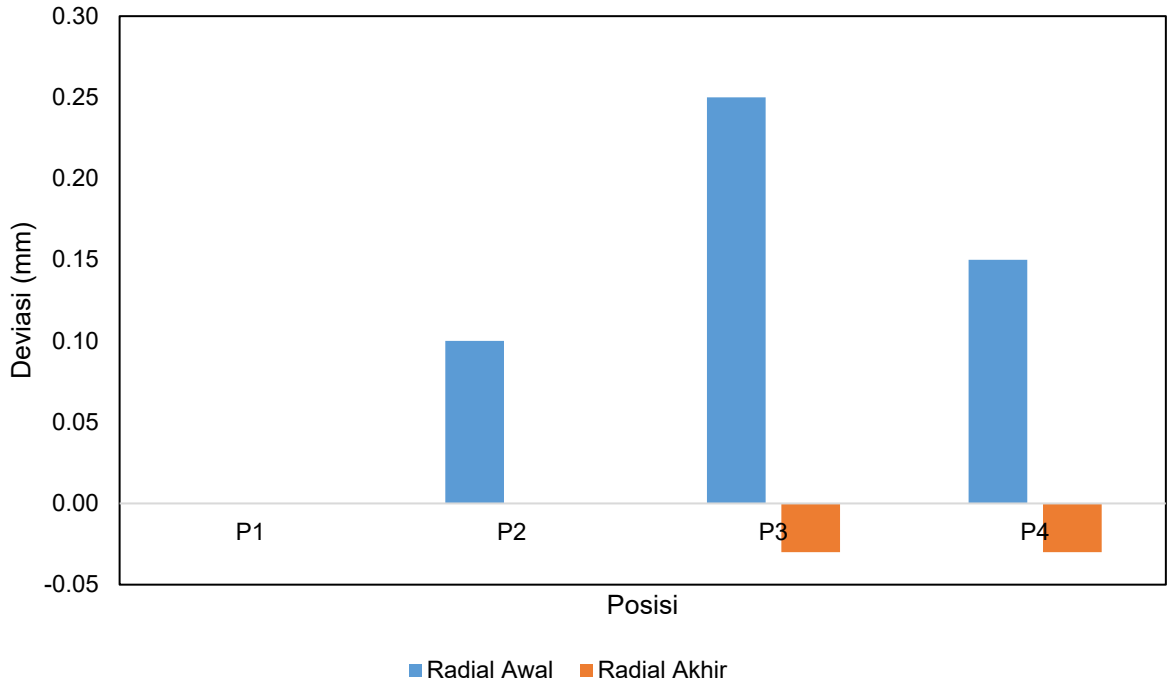


Gambar 9. *Data Spektrum Inboard Aksial*

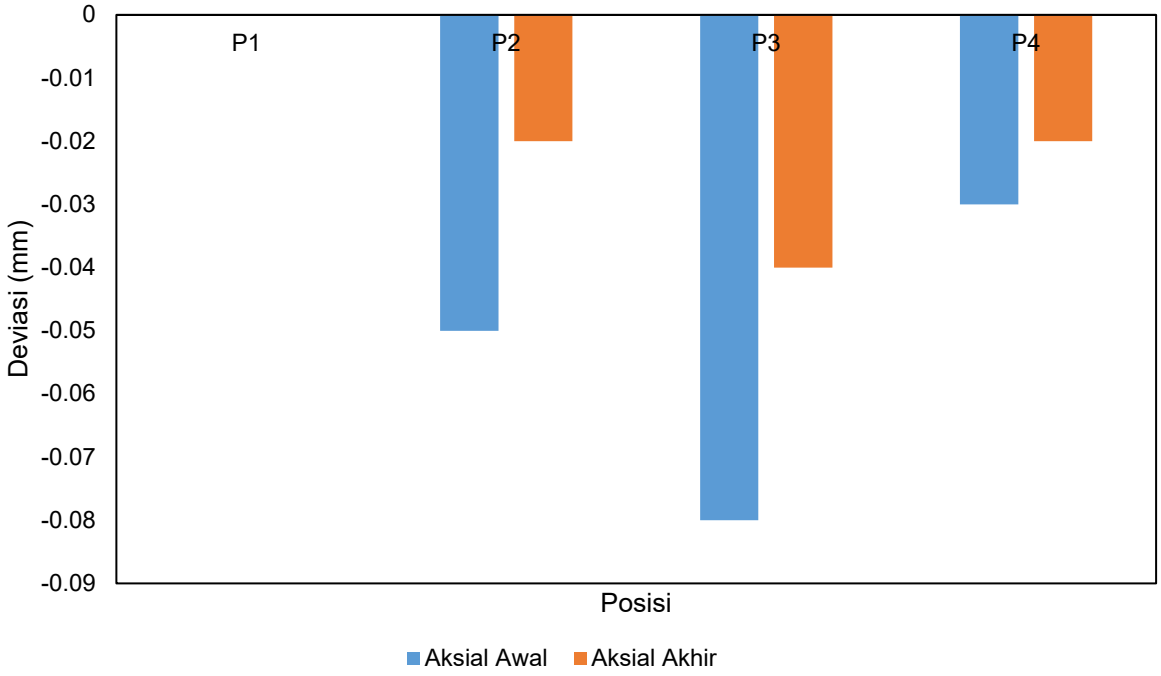


Gambar 10. *Data Spektrum Outboard Aksial*

Secara keseluruhan, frekuensi dominan yang muncul konsisten berada pada sekitar 1500–1600 CPM (sekitar 25 Hz), yang kemungkinan besar berkaitan langsung dengan kecepatan putaran pompa. Nilai amplitudo tertinggi tercatat pada arah horizontal, baik sisi *inboard* maupun *outboard*, yang menunjukkan dominansi getaran lateral. Energi getaran menurun secara konsisten di arah vertikal dan aksial, mengindikasikan bahwa getaran terbesar terjadi pada bidang horizontal pompa.



Gambar 11. *Data Alignment Sebelum dan Sesudah Adjustment pada Arah Radial*



Gambar 12. *Data Alignment Sebelum dan Sesudah Adjustment pada Arah Aksial*

Berdasarkan Gambar 11 dan Gambar 12 berupa data *alignment* radial dan aksial sebelum dan sesudah *adjustment* pada pompa sentrifugal, terlihat adanya penurunan signifikan pada nilai deviasi di keempat titik pengukuran (P1 hingga P4). Nilai deviasi awal (radial awal) yang ditampilkan dalam warna biru menunjukkan ketidaksejajaran yang cukup besar, terutama pada titik P3 diikuti oleh P4 dan P2. Data menunjukkan titik P3 mencapai nilai *misalignment* tertinggi, dimana radial *misalignment* mencapai nilai +0.25mm dan aksial *misalignment* mencapai nilai -0.08 mm.
Setelah dilakukan proses *adjustmen*t, nilai deviasi turun drastis hingga mendekati nol, yang ditunjukkan oleh batang oren (*hasil adjustment*) menandakan bahwa *alignmen*t telah berhasil diperbaiki. Hal ini menunjukkan efektivitas tindakan korektif dalam meningkatkan keselarasan radial, yang secara langsung berpotensi menurunkan tingkat getaran dan memperpanjang umur operasional pompa.

4. KESIMPULAN

Kerusakan pada *rubber coupling* pompa sentrifugal terjadi akibat kondisi mekanis yang tidak memenuhi standar, dimana ditunjukkan dari data *misalignment* dan tingkat vibrasi yang berlebihan. Dari hasil analisis data, diketahui bahwa radial *misalignment* mencapai nilai +0.25 mm, sementara *aksial misalignment* sebesar - 0.08 mm. Nilai-nilai tersebut telah melampaui batas toleransi yang disarankan untuk pemasangan *coupling*, sehingga menjadi penyebab utama percepatan kerusakan pada material *rubber coupling* itu sendiri. Selain itu, vibrasi yang tinggi, terutama pada arah horizontal dengan nilai hingga 4.99 mm/s RMS, mengindikasikan adanya ketidaksejajaran atau ketidakseimbangan poros, yang semakin memperparah kondisi kerusakan pada *coupling*.
Vibrasi dan *misalignment* sangat berkontribusi terhadap kerusakan *rubber coupling*. Getaran berlebih menimbulkan beban berulang yang membuat *rubber coupling* cepat lelah, retak, dan kehilangan kelenturannya. Radial *misalignment* menyebabkan beban tidak merata, sedangkan angular *misalignment* menimbulkan torsi tidak seimbang. Kombinasi keduanya mempercepat deformasi dan kerusakan *coupling* dalam waktu singkat.

Untuk memastikan *rubber coupling* berfungsi secara optimal dan memiliki umur pakai yang panjang, diperlukan pemasangan dan perawatan yang mengikuti standar teknis. Oleh karena itu, pemasangan harus dilakukan dengan akurasi tinggi menggunakan *dial indicator* untuk menjaga nilai radial dan angular tetap dalam batas toleransi. Selain itu, hasil pengukuran vibrasi menunjukkan nilai yang termasuk kategori tinggi. Maka dari itu, pemantauan vibrasi secara berkala dan inspeksi visual terhadap kondisi *rubber coupling* sangat penting untuk deteksi dini kerusakan. Penyesuaian *alignment* secara rutin juga diperlukan guna mencegah pergeseran poros yang dapat menyebabkan kerusakan berulang.

DAFTAR PUSTAKA

Chen, L., Wei, L., Wang, Y., Wang, J., & Li, W. (2022). Monitoring and Predictive Maintenance of Centrifugal Pumps Based on Smart Sensors. *Sensors*, *22*(6). https://doi.org/10.3390/s22062106

Eaton, A., Ahmed, W. H., & Hassan, M. (2022). Evaluating the Performance Degradation of Centrifugal Pumps Using the Principal Component Analysis. *Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME*, *144*(2). https://doi.org/10.1115/1.4052522

Ghorbel, A., Graja, O., Abdennadher, M., Walha, L., & Haddar, M. (2021). Dynamic Analysis of a Pumping Station with Coupling Misalignment Fault. In *Applied Condition Monitoring* (Vol. 17). https://doi.org/10.1007/978-3-030-76517-0_9

Güner, M., & Özbayer, M. M. (2019). Wear and its effects in centrifugal pumps. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, *29*(3). https://doi.org/10.29133/yyutbd.518139

Mallioris, P., Diamantis, E., Bialas, C., & Bechtsis, D. (2024). Predictive maintenance framework for assessing health state of centrifugal pumps. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, *13*(1). https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i1.pp850-862

Novotny, P., Drapal, L., Prokop, A., & Rehak, K. (2017). Modelling the powertrain *rubber coupling* under dynamic conditions. *Journal of Vibroengineering*, *19*(5). https://doi.org/10.21595/jve.2017.18077

Nugraha, J., Malik, I., & Junaidi, A. (2016). Rancang Bangun Alat Peraga Pengukur Getaran. *AUSTENIT*, *8* (1). https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/840

Qin, W., Qin, H., Zheng, H., & Zhang, Z. (2019). The coupled effect of bearing misalignment and friction on vibration characteristics of a propulsion shafting system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, *233*(1). https://doi.org/10.1177/1475090217722875

Ranawat, N. S., Kankar, P. K., & Miglani, A. (2021). Fault diagnosis in centrifugal pump using support vector machine and artificial neural network. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, *9*. https://doi.org/10.36909/jer.EMSME.13881

Sunal, C. E., Dyo, V., & Velisavljevic, V. (2022). Review of Machine Learning Based Fault Detection for Centrifugal Pump Induction Motors. In *IEEE Access* (Vol. 10). https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3187718

Ukpaka, S. A., & Nkoi, C. P. (2020). Application of Reliability Techniques to Evaluate Maintainability of Centrifugal Pump used for Petroleum Product Delivery. *Journal of Newviews in Engineering and Technology (JNET)*, *2*(3).

Zaman, W., Ahmad, Z., Siddique, M. F., Ullah, N., & Kim, J. M. (2023). Centrifugal Pump Fault Diagnosis Based on a Novel SobelEdge Scalogram and CNN. *Sensors*, *23*(11). https://doi.org/10.3390/s23115255

Zheng, L., Chen, X., Qu, J., & Ma, X. (2023). A Review of Pressure Fluctuations in Centrifugal Pumps without or with Clearance Flow. In *Processes* (Vol. 11, Issue 3). https://doi.org/10.3390/pr11030856