

ANALISIS VIBRASI PADA *GEARBOX* POMPA SENTRIFUGAL UNTUK SISTEM PENDINGIN INDUSTRI

V. Lestari^{1,2*}, I. Yani³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

³Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: ventylestari@unsri.ac.id

ABSTRAK: Pompa sentrifugal berperan penting dalam menjaga kestabilan aliran *cooling water* pada sistem pendingin industri, sehingga gangguan pada *gearbox* dapat berdampak langsung terhadap keandalan operasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis sumber vibrasi berlebih pada *gearbox* pompa sentrifugal tipe 2O-2209 JCM serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan berbasis *predictive maintenance*. Metodologi penelitian meliputi inspeksi awal untuk mengidentifikasi gejala kerusakan, pengukuran vibrasi pada 8 titik pengamatan di area motor–*gearbox*–pompa, serta pemeriksaan mekanis komponen *gearbox* pasca-*overhaul*. Hasil pengukuran awal menunjukkan nilai vibrasi tertinggi sebesar 10,5 mm/s pada titik *gearbox* (3H), termasuk kategori *short-term operation allowable* berdasarkan ISO 10816-3 dan mendekati batas kerusakan. Pemeriksaan mekanis mengonfirmasi adanya *over clearance* pada *sleeve bearing* sebesar 0,30 mm (batas 0,25 mm) dan *backlash* roda gigi sebesar 0,50 mm (batas 0,40 mm). Setelah penggantian *sleeve bearing* dan *high speed gear* dan *low speed gear*, vibrasi menurun menjadi 4,4 mm/s atau berkurang 58%. Penelitian ini menegaskan bahwa keausan komponen merupakan penyebab utama vibrasi berlebih dan menunjukkan bahwa penerapan *predictive maintenance* efektif dalam meningkatkan keandalan *gearbox* serta mencegah potensi kegagalan pada sistem pendingin industri.

Kata Kunci: Pompa sentrifugal, *gearbox*, vibrasi, *predictive maintenance*

ABSTRACT: Centrifugal pumps play a critical role in maintaining the stability of cooling water flow in industrial cooling systems; therefore, any disturbance in the gearbox can directly compromise overall operational reliability. This study aims to identify the source of excessive vibration observed in the gearbox of the 2O-2209 JCM centrifugal pump and to evaluate the effectiveness of corrective actions conducted through a predictive maintenance approach. The methodology involved an initial inspection to detect early indicators of mechanical degradation, vibration measurements at eight observation points across the motor–gearbox–pump assembly, and a detailed mechanical examination following the overhaul procedure. The initial vibration measurement recorded a peak value of 10.5 mm/s at the gearbox point (3H), which falls within the short-term operation allowable range of ISO 10816-3 but is close to the damage threshold. Mechanical inspection confirmed an over-clearance of 0.30 mm on the sleeve bearing (limit 0.25 mm) and a gear backlash of 0.50 mm (limit 0.40 mm), indicating significant component wear. After replacing the sleeve bearing along with the high-speed and low-speed gears, the vibration level decreased to 4.4 mm/s, representing a 58% reduction. The results highlight component wear as the main contributor to excessive vibration and demonstrate that predictive maintenance is effective in improving gearbox reliability and preventing potential failures in industrial cooling systems.

Keywords: Centrifugal pump, *gearbox*, vibration, *predictive maintenance*

1 Pendahuluan

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang paling banyak digunakan pada berbagai sektor industri karena memiliki desain sederhana, perawatan yang relatif mudah, serta kemampuan untuk

memindahkan fluida dalam debit besar dan beroperasi secara kontinu. Prinsip kerjanya didasarkan pada konversi energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran poros menjadi energi fluida melalui gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*. Mekanisme tersebut menyebabkan peningkatan tekanan, kecepatan, dan energi

potensial fluida, sehingga aliran fluida dapat mengalir secara kontinu [1]. Dengan karakteristik tersebut, pompa sentrifugal banyak diaplikasikan dalam industri manufaktur, petrokimia, pembangkit listrik, hingga industri pengolahan mineral [2].

Dalam sistem utilitas industri, khususnya pada industrial *cooling system*, peran pompa sentrifugal sangat vital karena kestabilan suhu proses produksi secara langsung dipengaruhi oleh kontinuitas laju aliran *cooling water*. Ketidakstabilan aliran akibat gangguan pada pompa dapat menyebabkan terganggunya proses perpindahan panas, meningkatnya suhu peralatan, penurunan efisiensi, hingga kemungkinan *shutdown* yang tidak direncanakan [3]. Oleh karena itu, pemantauan kondisi dan pemeliharaan pompa secara sistematis menjadi kebutuhan penting dalam pengoperasian fasilitas industri modern.

Pada rangkaian sistem perpompaan, *gearbox* berfungsi sebagai komponen transmisi daya dari motor listrik ke pompa dengan tujuan untuk menyesuaikan kecepatan putar dan torsi agar sesuai dengan parameter yang diperlukan oleh kebutuhan operasional. Secara konstruksi, *gearbox* terdiri dari susunan roda gigi dalam sebuah rumah mekanis yang menghubungkan poros *input* dan *output*. Sistem kerjanya melibatkan proses perpindahan gerak rotasi dari satu poros ke poros lainnya [4]. Selain itu, *gearbox* memiliki mekanisme sistem pemindahan daya yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari mesin ke bagian komponen lain yang membutuhkan putaran mesin [5]. Penggunaannya dalam aplikasi industri banyak dipilih karena mampu bekerja pada kecepatan rotasi yang besar (baik putaran tinggi maupun rendah), selain itu memiliki tingkat kebisingan yang rendah dan minim potensi terjadinya *slip* [4]. Namun, karena menerima beban rotasi secara terus menerus, *gearbox* sangat rentan mengalami kerusakan seperti keausan *gear*, *misalignment*, keausan *sleeve*, kontaminasi oli, dan peningkatan *backlash*, yang semuanya dapat menyebabkan naiknya tingkat vibrasi sistem [6].

Unit pompa sentrifugal 2O-2209 JCM yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi mengalirkan *cooling water* dari *cooling tower*. Air yang telah digunakan dalam proses pendinginan di pabrik kemudian dikembalikan ke *cooling tower* untuk didinginkan kembali sebelum dialirkan ulang ke sistem. Pada kondisi aktual, pompa ini menunjukkan gejala kerusakan yang ditandai dengan adanya vibrasi dan suara bising yang berlebihan pada area *gearbox*. Secara umum, pompa

mempunyai beberapa gejala kerusakan yang sering ditemui antara lain, debit fluida tidak lancar dan berkurang, suhu berubah, performa kurang efektif, dan vibrasi tinggi [7]. Vibrasi dapat menyebabkan dampak negatif seperti terjadinya kerusakan pada poros dan bantalan, adanya suara kebisingan, penurunan kapasitas hingga efisiensi kinerja secara keseluruhan [8]. Jika dibiarkan, vibrasi berlebih dapat mempercepat degradasi komponen, meningkatkan konsumsi energi, menurunkan efisiensi hidrolik, hingga mengakibatkan kegagalan total pompa [9]. Serta beberapa kemungkinan yang menyebabkan gejala kerusakan lainnya seperti *shaft* aus, oli kotor, *filter* oli rusak, *misalignment*, *bearing* sudah aus, dan *backlash gearbox* yang tinggi.

Untuk mendeteksi gejala kerusakan tersebut, analisis vibrasi merupakan metode diagnosis yang efektif untuk mendeteksi kerusakan pada jenis mesin yang berputar, termasuk *gearbox* dan pompa. Keunggulan utama dari analisis vibrasi yaitu dapat mengidentifikasi masalah yang berkembang sebelum menjadi gangguan yang lebih serius dan dapat menyebabkan *unschedule downtime* pada mesin [10].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis kerusakan *gearbox* pada pompa sentrifugal 2O-2209 JCM melalui pendekatan pengukuran vibrasi dan inspeksi kondisi mekanis komponen. Analisis diarahkan untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan, menilai tingkat keparahan vibrasi, serta mengevaluasi efektivitas pemeliharaan prediktif dalam menjaga kestabilan operasi sistem pendingin industri. Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi teknis yang lebih presisi dalam pengelolaan pemeliharaan pompa dan *gearbox* pada fasilitas industri.

2 Metode Penelitian

2.1 Objek dan Identifikasi Awal

Objek dari penelitian ini berupa satu unit pompa sentrifugal 2O-2209 JCM dan *gearbox*, adapun spesifikasi motor Pompa 2O-2209 JCM terdapat di Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor Pompa 2O-2209 JCM.

Spesifikasi	Eksplanasi
Type	TIKE
HP	1200
Speed	1480 rpm
Hz	50

Volts	2300
Rating	Constant
Cooling temperature	40°C

Untuk memperoleh laju aliran fluida yang sesuai dengan kebutuhan sistem, pompa dioperasikan pada kecepatan tertentu. Karena kecepatan putar motor lebih besar dari kecepatan yang diperlukan pompa, maka digunakan *gearbox* sebagai pereduksi putaran. *Gearbox* yang digunakan pada pompa ini memiliki rasio transmisi 1.6667, sehingga menghasilkan kecepatan keluaran poros sebesar 925 rpm. Spesifikasi *gearbox* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *gearbox*.

Spesification	Eksplanaion
High Speed gear	48 pitch
Low Speed gear	80 pitch
Rasio	80/48

Operasi pompa dihentikan karena adanya suara bising pada *gearbox* dan vibrasi yang melebihi batas normal. Keputusan untuk melakukan *overhaul* diambil setelah dilakukannya tindakan perawatan ringan berupa penggantian oli dan *filter*, namun cara tersebut belum bisa menghilangkan suara bising dan vibrasi.

2.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

- (1) Inspeksi awal berupa observasi suara, vibrasi, dan kondisi pelumasan sistem *gearbox*. Inspeksi awal dilakukan untuk mengidentifikasi gejala kerusakan berupa vibrasi tinggi dan suara yang bising.
- (2) Pengukuran vibrasi dilakukan di delapan titik pengamatan disekitar pompa dan *gearbox*.
- (3) Pembongkaran (*overhaul*) *gearbox* untuk memeriksa kondisi *bearing*, *gear*, dan sistem pelumasan.
- (4) Pengukuran mekanis yang terdiri dari *clearance sleeve bearing* dan *backlash gear* menggunakan *feeler gauge* dan mikrometer.
- (5) Analisis penyebab kerusakan berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan visual.

(6) Penggantian komponen aus berupa *sleeve bearing*, *high-speed gear*, dan *low-speed gear* baru.

(7) Pemasangan ulang dan dilakukan uji vibrasi pasca perbaikan untuk mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan.

2.3 Langkah Pembongkaran *Gearbox*

Langkah pembongkaran *gearbox* pada pompa 20-2209 JCM adalah sebagai berikut:

- (1) Sebelum pekerjaan dilakukan, pastikan kondisi peralatan dalam keadaan aman serta telah memperoleh izin kerja (*safety permit*) dari pihak operasi.
- (2) Buka *cover coupling motor to gearbox* dan *gearbox to pump*.



Gambar 1. *Cover coupling motor to gearbox* dan *gearbox to pump*

- (3) Buka baut *coupling* dan lakukan pemeriksaan *alignment* antar poros.



Gambar 2. Baut *coupling* yang sudah dilepas

- (4) Buka *lube oil piping*.



Gambar 3. *Lube oil piping*

(5) Buka *main lube oil gearbox* dan *lube oil cooler*.



Gambar 4. *Lube oil cooler*

(6) Buka *cover gearbox* bagian atas.



Gambar 5. Saat *cover gearbox* diangkat

(7) Periksa *backlash* pada *gear*.



Gambar 6. Saat akan melakukan pengukuran *backlash*

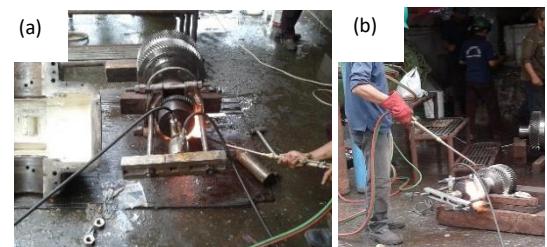
(8) Angkat *low speed gear* dan *high speed gear*.



Gambar 7. Pengangkatan *high speed gear*

(9) Lepaskan *bearing bottom low speed* dan *high speed gear*, kemudian ukur jarak *ring* pada *shaft low speed* dan *high speed gear*.

(10) Lepaskan *hub gear low speed* dan *high speed* dengan cara dipanaskan dan *inject*, kemudian bersihkan menggunakan thervetin karena akan digunakan kembali.



Gambar 8. (a) Melepaskan *hub gear low speed* (b) melepaskan *hub gear high speed* dan *low speed*

2.4 Parameter yang Dianalisis

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu:

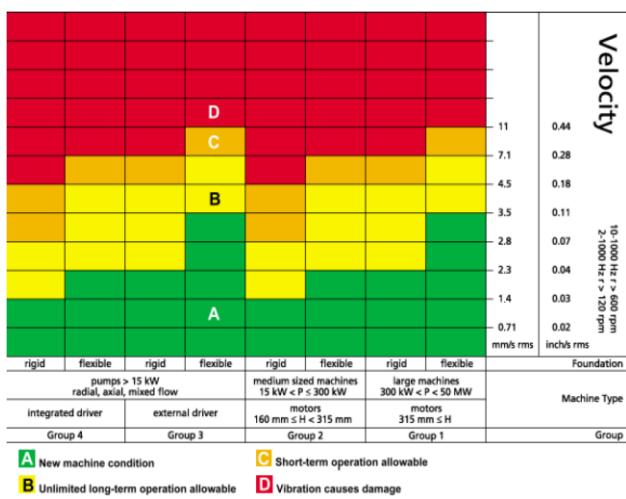
- (1) Nilai amplitudo vibrasi (mm/s)
- (2) Nilai *clearance bearing* dan *backlash gear* (mm)
- (3) Perubahan amplitudo vibrasi setelah tindakan perbaikan

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Awal *Gearbox*

Inspeksi awal menunjukkan bahwa pompa beroperasi dengan tingkat kebisingan tinggi dan vibrasi tinggi pada area *gearbox*. Nilai vibrasi maksimumnya sebesar 10,5 mm/s dimana terdeteksi pada titik 3H yang menunjukkan kondisi operasi berada dalam kategori

short-term operation allowable menurut standar ISO 10816-3 [11], tetapi sudah mendekati ke dalam kategori *vibration causes damage*. Standar ISO 10816-3 (Gambar 9) menggambarkan 4 kriteria kondisi mesin salah satunya *short-term operation allowable (warning)* yang artinya mesin masih dapat beroperasi untuk sementara waktu, tetapi terdapat permasalahan yang ada harus segera diatasi agar tidak mengganggu sistem kerja operasi. Sedangkan *vibration causes damage (alarm)* artinya kondisi mesin berpotensi menimbulkan kerusakan dan harus segera dilakukan tindakan untuk mencegah kegagalan operasi yang lebih serius.



Gambar 9. Standar ISO 10816-3 [11]

3.2 Data Vibrasi Sebelum Perbaikan

Data hasil pengukuran vibrasi sebelum perbaikan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran vibrasi sebelum perbaikan.

Posisi	Titik	Nilai Vibrasi (mm/s)
Gearbox	3H	10,5
Pompa sisi A	1A	2,0
Pompa sisi B	5H	5,8
Motor sisi A	8A	5,3

Nilai getaran tertinggi terletak pada titik 3H (gearbox). Data ini memperlihatkan bahwa sumber getaran utama berasal dari *gearbox*, sementara vibrasi pada pompa dan motor masih berada dalam batas normal.

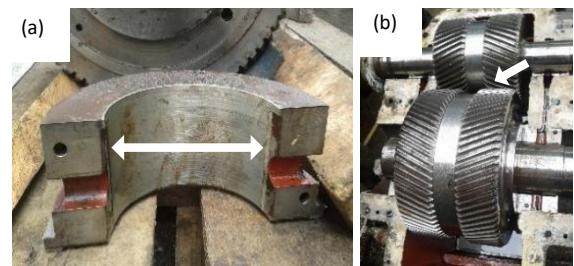
3.3 Hasil Pengukuran Mekanis

Hasil pengukuran *sleeve bearing* menunjukkan *clearance* sebesar 0,30 mm, melebihi batas toleransi maksimum 0,25 mm. Sementara itu, hasil pengukuran *backlash gear* mencapai 0,50 mm, melampaui batas yang direkomendasikan yaitu 0,40 mm. Keausan yang terjadi menyebabkan *misalignment* dan *impact load* antar *gear*, yang menyebabkan meningkatnya amplitudo vibrasi dan kebisingan selama operasi.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Mekanis

Komponen	Nilai Terukur (mm)	Batas Toleransi (mm)	Keterangan
<i>Sleeve Bearing</i>	0,30	0,25	Melebihi batas toleransi (aus)
<i>Backlash Gear</i>	0,50	0,40	Melebihi batas toleransi (aus)

Kondisi tersebut disebabkan oleh umur pakai komponen yang telah melampaui batas layanan serta sistem pelumasan yang telah melampaui batas pemakaian serta sistem pelumasan yang kurang optimal, yang berakibat pada bearing *fatigue* dan keausan progresif.

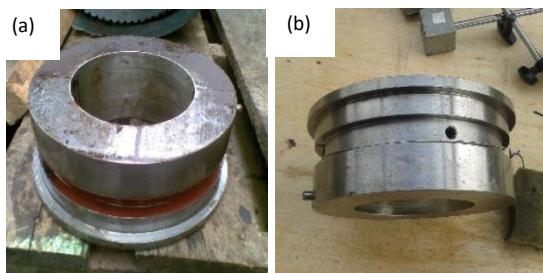


Gambar 10. (a) *Sleeve bearing over clearance* (b) *Gear backlash besar*

3.4 Langkah Perbaikan

3.4.1 Penggantian *Sleeve Bearing*

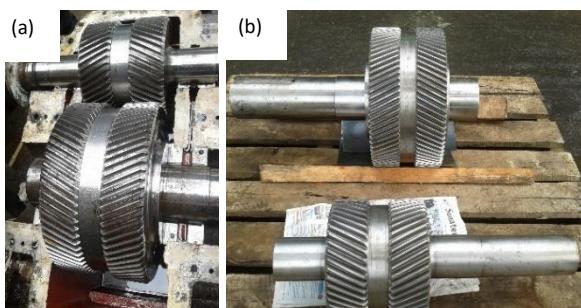
Bearing yang telah aus dan tidak layak digunakan diganti dengan *bearing* baru.



Gambar 11. *Sleeve bearing* (a) lama (b) baru

3.4.2 Penggantian High Speed Gear dan Low Speed Gear

Gear dengan *backlash* yang sudah melebihi batas *clearance*, diganti dengan *gear* yang baru.



Gambar 12. *Gear* (a) lama (b) baru

3.4.3 Langkah Pemasangan Gearbox

Setelah seluruh komponen pada *gearbox* diganti dan diperbaiki, dilakukan proses pemasangan *gearbox*. Adapun langkah-langkah pemasangan kembali *gearbox* tersebut sebagai berikut :

- (1) Pasang *bearing bottom gear low speed* dan *high speed* pada *gearbox*.
- (2) Pasang *ring*, *cover tab*, *hub* pada *low speed gear* dan *high speed gear*.
- (3) Angkat dan pasang *low speed gear* dan *high speed gear* pada *gearbox*.
- (4) Lakukan pemeriksaan *axial*, *clearance radial*, serta ukur *backlash gear* dengan nulai 0,40 mm
- (5) Pasang *bearing top*, *coupling* dan *bearing*
- (6) Pasang *gear pump* pada *gearbox*.
- (7) Isi oli ke dalam *gearbox* dan pasang kembali *cover gearbox*.
- (8) Lakukan *alignment motor to gearbox* dan *gearbox to pump*.
- (9) Pasang kembali *cover coupling*.

- (10) Sambungkan kembali *line oil* dan *filter oil* pada system pelumasan.

Sebelum pompa dioperasikan, harus dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi dan kelengkapan pompa. Adapun tahapan pemeriksaan yang dilakukan meliputi:

- (1) Pastikan *gearbox* dapat berputar dengan lancar tanpa hambatan atau adanya suara abnormal
- (2) Lakukan pemeriksaan pada gasket di antara *casing* dan *stuffing box*, gasket antara *bearing housing* dan *cover* tidak boleh terjadi kebocoran agar kondisi oli pelumas di dalamnya dalam keadaan normal.
- (3) Periksa dan pastikan bahwa arah putaran sudah benar dan telah sesuai.

3.5 Data Vibrasi Setelah Perbaikan

Data hasil pengukuran vibrasi setelah perbaikan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran vibrasi setelah perbaikan.

Posisi	Titik	Nilai Vibrasi (mm/s)
<i>Gearbox</i>	3H	4,4
Pompa sisi A	1A	3,0
Pompa sisi B	5H	3,8
Motor sisi A	8A	4,3

Setelah dilakukan perbaikan, nilai vibrasi maksimum menurun dari 10,5 mm/s menjadi 4,4 mm/s atau berkurang sebesar 58%. Penurunan ini menunjukkan bahwa tindakan perawatan yang dilakukan berhasil dan juga membuktikan bahwa penyebab utama vibrasi dan suara bising yang terjadi karena kondisi *bearing* dan *gear* yang telah aus.

4 Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama vibrasi berlebih pada gearbox pompa sentrifugal tipe 2O-2209 JCM serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan berbasis *predictive maintenance*. Berdasarkan hasil inspeksi dan pengukuran, kerusakan gearbox diketahui disebabkan oleh *over clearance* pada *sleeve bearing* sebesar 0,30 mm dan *backlash* roda gigi sebesar 0,50 mm, yang keduanya telah melebihi batas toleransi desain. Kondisi ini menyebabkan

peningkatan vibrasi hingga 10,5 mm/s, yang mengindikasikan adanya keausan signifikan pada sistem transmisi daya. Setelah dilakukan penggantian komponen utama, termasuk *sleeve bearing*, *high-speed gear*, dan *low-speed gear*, nilai vibrasi menurun menjadi 4,4 mm/s, sehingga menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang dilakukan efektif dalam memulihkan stabilitas operasi. Temuan ini juga menegaskan bahwa analisis vibrasi merupakan metode diagnosis dini yang akurat dalam mendeteksi kerusakan mekanis dan sangat mendukung penerapan *predictive maintenance*.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu pengujian dilakukan pada satu kondisi beban operasi dan tanpa analisis spektrum lanjutan untuk mengidentifikasi frekuensi kerusakan secara lebih detail, sehingga pemantauan jangka panjang masih diperlukan untuk meningkatkan akurasi evaluasi kondisi *gearbox*. Studi lanjutan disarankan dapat dikembangkan dengan menambahkan analisis frekuensi yang lebih detail, pemantauan jangka panjang (*long-term monitoring*), serta penggunaan sensor daring (*online monitoring*) untuk meningkatkan akurasi deteksi dini kerusakan.

Adapun rekomendasi aplikatif dari penelitian ini meliputi perlunya pemantauan vibrasi secara berkala, minimal setiap dua minggu, untuk mendeteksi perubahan kondisi sejak dini; pengecekan kualitas dan *volume* oli *gearbox* setiap 500 jam operasi; penyediaan suku cadang kritis agar proses penggantian dapat dilakukan dengan cepat ketika terjadi kerusakan; serta pelaksanaan *daily patrol* secara konsisten untuk memastikan pompa beroperasi dalam kondisi normal. Rangkaian rekomendasi ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan *gearbox* dan meminimalkan risiko kegagalan pada sistem pendingin industri.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah bekerja sama dalam memperbaiki *gearbox* pada pompa 2O-2209 JCM.

Daftar Pustaka

- [1] Sularso dan H. Tahara, *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*, Jakarta: Pradnya Paramita, 2006.
- [2] Z. Mohammadi, F. Heidari, M. Fasamanesh, A. Saghafian, F. Amini, and S. M. Jafari, “Centrifugal pumps,” in *Transporting Operations of Food Materials within Food Factories: Unit Operations and Processing Equipment in the Food Industry*, 1st ed., Elsevier, pp. 155–187, 2023.
- [3] S. F. Rahmadhanty, T. Pitana, and N. Siswantoro, “Reviewing the RCM on Cooling Water Pump of LNG Production Company,” *International Journal of Marine Engineering Innovation & Research*, vol. 3, no. 3, pp. 109-117, 2019.
- [4] Meryanalinda, Wardjito, dan W. D. Putra, “Perancangan Gear Box Penarikan Kapal Sistem Airbag Kapasitas 7.000 Ton”, *Wahana Teknik: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik*, vol. 08, hal. 62-76, 2019.
- [5] M. Arief, “Mengidentifikasi Masalah Mekanis dan Kerusakan Gearbox Mesin induk pada Kapal Tunda Sei Deli II PT Pelindo 1 (Persero) Cabang Dumai”, *Skripsi*, Universitas Maritim AMNI, Semarang, Indonesia, 2020.
- [6] K. Feng, J.C. Ji, Q. Ni, and M. Beer, “A Review of Vibration-Based Gear Wear Monitoring and Prediction Techniques”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 182, 2023.
- [7] A. F. Firmansyah dan K. Nadliroh, “Perawatan Preventive Metode FMEA Pompa Sentrifugal KSB 40-200 Pada PT Z”, *AME: Aplikasi Mekanika & Energi*, vol. 11, no. 01, hal. 1-5, 2025.
- [8] N. Carnegie, D. Suryadi, dan Fitriolina, “Analisa Level Getaran Cooling Water Pump 1 Jenis Sentrifugal”, *Rekayasa Mekanik*, vol. 4, no. 1, hal. 25-32, 2020.
- [9] M. Tiboni, C. Remino, R. Bussola, and C. Amici, ”A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery”, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 972, 2022.
- [10] P. Girdhar and C. Scheffer, “*Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*”, Oxford, UK: Newnes/Elsevier, 2004.
- [11] D. Romahadi, H. Xiong, and H. Pranoto, “Intelligent System for Gearbox Fault Detection & Diagnosis Based on Vibration Analysis using Bayesian Networks”, *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, vol. 694, 2019.