

EVALUASI DAN OPTIMALISASI KINERJA POMPA SENTRIFUGAL CEN 100X80-160 PADA SISTEM *COOLING WATER* UNTUK KONDENSOR

Altahira Hafizh Rifqy¹, M. Roni Hajianto^{1*}

¹Teknik Mesin Kilang, PEM Akamigas, Jalan Gajah Mada No.38, Blora, 58315

*E-mail: ronihajianto80@gmail.com

ABSTRAK

Pompa sentrifugal memiliki peran vital dalam sistem *cooling water* pada kondensor, namun efisiensinya kerap menurun akibat degradasi komponen mekanik dan hidraulik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi kinerja pompa sentrifugal CEN 100×80–160 berdasarkan analisis efisiensi hidraulik, getaran, dan temperatur *bearing*. Data sekunder diperoleh dari sistem monitoring plant PT. X, kemudian dianalisis secara kuantitatif dengan mengacu pada standar API 610, JIS B8301, ISO 5199, dan ISO 10816. Hasil pengujian menunjukkan bahwa debit aktual sebesar 121,3 m³/jam mengalami penurunan 5,23%, sedangkan daya input meningkat 14,47%, sehingga efisiensi turun menjadi 65,26% atau 17,39% lebih rendah dibanding spesifikasi pabrikan. Pengukuran getaran menunjukkan amplitudo tertinggi 63,8 µm pada *Pump DE* horizontal, dan temperatur tertinggi 81 °C pada *Drive DE bearing*, melampaui batas standar. Kondisi ini menandakan adanya ketidakseimbangan *impeller*, *misalignment*, serta keausan *gland packing* yang menurunkan efisiensi sistem. Rekomendasi optimalisasi meliputi *balancing impeller*, *realignment* motor–pompa, serta penggantian *gland packing* dengan *mechanical seal*. Penerapan rekomendasi ini diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi dan memperpanjang umur komponen utama.

Kata kunci: Pompa Sentrifugal, Efisiensi Pompa, *Mechanical Seal*

1. PENDAHULUAN

Dalam era industrialisasi dan urbanisasi yang semakin pesat, efisiensi sistem utilitas menjadi faktor penting dalam menjaga keberlanjutan operasional fasilitas industri, termasuk sistem pendingin (*cooling water system*) pada kondensor. Pompa sentrifugal berperan vital dalam sistem ini karena berfungsi mengalirkan fluida pendingin secara kontinu untuk menjaga kestabilan temperatur kondensor. Namun, pada praktiknya, kinerja pompa sering mengalami penurunan akibat keausan komponen internal dan ketidakseimbangan mekanis, yang berdampak langsung terhadap efisiensi energi serta keandalan sistem operasi.

Pompa sentrifugal bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi mekanik menjadi energi fluida melalui *impeller* yang berputar. Efisiensi dan performanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi hidraulik, gesekan fluida, serta kondisi mekanik pada poros dan sistem penyekat (*sealing system*) [1]. Dalam banyak sistem industri, *gland packing* masih digunakan karena konstruksinya sederhana dan biaya awalnya rendah. Namun, seiring waktu, komponen ini memiliki kelemahan berupa kebocoran fluida yang menyebabkan kehilangan debit, peningkatan gesekan pada poros, dan penurunan efisiensi pompa [2][3].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas performa pompa sentrifugal dari sisi hidraulik, seperti analisis debit, *head losses*, dan efisiensi[4][5]. Akan tetapi, sebagian besar studi tersebut belum mengintegrasikan aspek kondisi mekanik seperti getaran (*vibration analysis*) dan temperatur *bearing* sebagai indikator penurunan performa. Padahal, parameter tersebut sangat penting untuk menilai kondisi aktual pompa di lapangan serta mendeteksi potensi

kerusakan, seperti ketidakseimbangan impeler, *misalignment*, atau keausan pada *gland packing* [6][7].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi kinerja pompa sentrifugal tipe CEN 100×80–160 pada sistem *cooling water* kondensor berdasarkan parameter efisiensi hidraulik, getaran, dan temperatur bearing. Analisis dilakukan dengan membandingkan data operasional aktual terhadap data rujukan pabrikan guna mengidentifikasi deviasi performa serta menentukan penyebab utama penurunan efisiensi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan keandalan pompa sentrifugal di lingkungan industri dengan cara menghubungkan data efisiensi hidraulik dan kondisi mekanik. Temuan ini juga menjadi dasar dalam strategi perawatan preventif dan perancangan ulang sistem penyekat, khususnya dalam rekomendasi penggantian *gland packing* menjadi mechanical seal untuk meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang umur operasi pompa.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis kuantitatif berbasis data sekunder yang diperoleh dari laporan operasional unit pompa pada sistem *cooling water* kondensor di PT. X. Metode penelitian dirancang untuk mengevaluasi kinerja pompa sentrifugal CEN 100×80–160 dengan meninjau dua aspek utama, yaitu analisis hidraulik dan analisis kondisi mekanik. Kedua analisis ini terintegrasi untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh terhadap penurunan efisiensi dan faktor penyebabnya.

A. Studi Literatur

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh dasar teori mengenai karakteristik pompa sentrifugal, parameter performa, serta standar teknis yang digunakan dalam analisis. Referensi yang dikaji meliputi API 610, ISO 5199, dan JIS B8301, serta literatur akademik terkait efisiensi dan keandalan pompa.

B. Pengumpulan Data Operasional

Data aktual diambil dari sistem monitoring pada unit pendingin kondensor. Parameter yang dikumpulkan meliputi:

- Debit aliran (Q) diperoleh dari *Flow Meter*;
- *Head* Pompa (H) diperoleh dari *Pressure Gauge*;
- Daya Input (P_{in}) diperoleh dari Panel Daya Motor;
- Getaran (*vibration amplitude*) dari *Vibration Meter*;
- Temperatur bearing (T) dari *Infrared Thermal Gun*.

Dimana seluruh data diperoleh saat pompa beroperasi dalam kondisi normal berdasarkan catatan pengawasan rutin di PT. X.

C. Perhitungan Kinerja Pompa

Untuk melakukan hasil perbandingan, perlu dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan pada cairan menggunakan persamaan berikut [1]:

a. Daya Hidrolik

$$P_{hyd} = \rho \times Q \times g \times H \quad (1)$$

Setelah mendapatkan nilai dari Daya Hidrolik dapat melakukan perhitungan Efisiensi Pompa dengan menggunakan persamaan berikut [1],

b. Efisiensi Pompa

$$\eta_{pump} = \frac{P_{hyd}}{P_{in}} \quad (2)$$

D. Analisis Kondisi Mekanik

Tahap ini mendukung interpretasi hasil efisiensi dengan meninjau kondisi mekanis pompa. Pengukuran dilakukan sebagai berikut:

- Uji Getaran (*Vibration Test*): menggunakan *vibration meter digital* dengan tiga arah pengukuran (vertikal, horizontal, aksial) pada titik *Pump DE/NDE* dan *Drive DE/NDE*. Nilai amplitudo dibandingkan dengan batas standar JIS B8301 Annex 2 (Fig. 1).
- Pengukuran Temperatur *Bearing*: dilakukan menggunakan *infrared thermal gun* untuk mendeteksi suhu permukaan rumah bantalan (*bearing housing*) tanpa kontak langsung. Metode ini dipilih karena mampu mengukur temperatur aktual secara cepat dan aman selama pompa beroperasi. Hasil pengukuran diverifikasi terhadap batas temperatur maksimum yang diizinkan menurut JIS B8301 Annex 2 Tabel 1.

Nilai getaran dan temperatur digunakan untuk menentukan apakah penurunan efisiensi disebabkan oleh keausan mekanik, ketidakseimbangan poros, atau kebocoran pada sistem penyekat (*seal leakage*).

E. Analisis Perbandingan dan Diagnosa Kerja

Perbandingan dilakukan antara kondisi aktual dan data rujukan pabrikan untuk menentukan:

- Persentase penurunan debit dan efisiensi;
- Kenaikan daya input terhadap kondisi nominal;
- Indikasi gangguan mekanik berdasarkan nilai getaran dan temperatur.

Hasil perbandingan tersebut menjadi dasar dalam menentukan penyebab utama penurunan kinerja pompa, seperti keausan *gland packing* atau ketidaksejajaran antara motor dan pompa (*misalignment*).

F. Rekomendasi Optimalisasi

Langkah akhir berupa penyusunan rekomendasi teknis yang diarahkan untuk meningkatkan keandalan operasi pompa. Rekomendasi meliputi penggantian *gland packing* dengan *mechanical seal* dan penerapan perawatan preventif sesuai standar ISO 5199 tentang *centrifugal pumps — class II*.

G. Batasan Penelitian

Penelitian ini hanya mencakup evaluasi kinerja satu unit pompa (CEN 100x80-160) berdasarkan data sekunder dari laporan operasional pada PT X. Tidak dilakukan pengukuran langsung, uji coba laboratorium, maupun simulasi numerik.

H. Standar dan Acuan Teknis

Beberapa standar yang digunakan sebagai dasar analisis adalah:

- API 610: *Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries*.
- ISO 5199: *Technical Specifications for Centrifugal Pumps — Class II*.
- JIS B8301: *Centrifugal Pumps — Test Methods*.

Standar tersebut digunakan dalam pengukuran, klasifikasi, serta interpretasi batas getaran dan temperatur bearing, sekaligus sebagai acuan dalam rekomendasi perawatan sistem penyekat.

3. PEMBAHASAN

Untuk dapat mengevaluasi kinerja pompa secara menyeluruh, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data kondisi operasional aktual yang menjadi dasar dalam analisis performa pompa.

A. Data Kondisi Operasional Aktual Pompa Sentrifugal CEN 100X80-160

Setelah melakukan pengumpulan data aktual operasional pompa sentrifugal CEN 100X80-160, maka didapatkan hasil Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Data Performa Pompa Sentrifugal CEN 100X80-160

Performa Pompa		
Keterangan	Nilai	Satuan
Daya Input	17,4	kW
Debit Aliran	121,3	m ³ /jam
	0,0337	m ³ /det
Head pompa	34,52	m
Densitas	995	kg/m ³
Putaran	2930	RPM
Pelumasan	Grease	-

Berdasarkan data pengamatan, pompa CEN 100×80–160 beroperasi dengan daya input sebesar 17,4 kW, debit aliran 121,3 m³/jam, dan head 34,52 m. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa sistem masih bekerja dalam kondisi fungsional, tetapi tidak optimal dibandingkan dengan spesifikasi pabrikan. Kondisi fluida yang digunakan memiliki densitas 995 kg/m³ dan kecepatan putaran motor 2930 rpm.

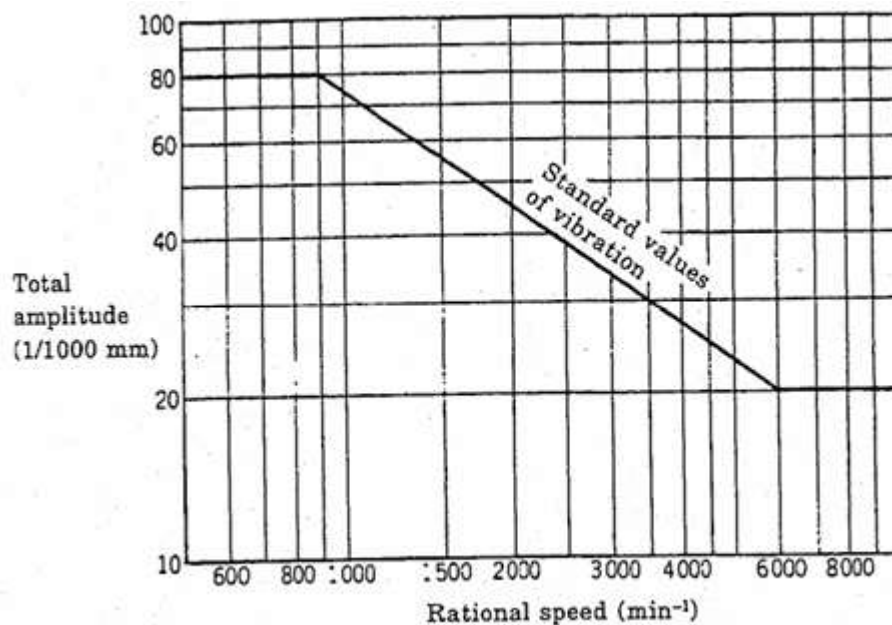
B. Perhitungan Daya Hidrolik dan Efisiensi Pompa

Perhitungan daya hidrolik dan efisiensi pompa dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan pompa dalam mengubah energi input menjadi energi hidrolik yang bermanfaat. Dengan kata lain, perhitungan ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kinerja pompa berdasarkan data aktual operasi. Efisiensi pompa yang diperoleh kemudian akan dibandingkan dengan data rujukan dari pabrikan untuk mengidentifikasi adanya deviasi performa.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Pers. (1) dan (2), diperoleh efisiensi pompa aktual sebesar 65,26% dengan daya hidrolik sebesar 11,3552 kW. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis perbandingan antara kinerja aktual pompa dengan spesifikasi yang dinyatakan oleh pabrikan.

C. Analisis Kondisi Mekanik

Untuk mendukung analisis hidrolik, dilakukan evaluasi kondisi mekanik melalui pengukuran getaran dan temperatur bearing. Pengujian dilakukan menggunakan *vibration meter digital* serta infrared thermal gun guna mendeteksi suhu permukaan bearing *housing* tanpa kontak langsung. Gambar 1 dan Tabel 2 adalah standar ketentuan yang berlaku.



Gambar 1. Standard values of vibration [8]

Tabel 2. Permissible maximum temperature and permissible temperature rise of bearing [9]

	Permissible temperature rise (At ambient temperature not more than 40° C. However, the permissible maximum temperature shall not be exceed)		Permissible maximum temperature		
	At bearing surface	Measurement by inserted metal temperature-sensing probe	At bearing surface	Measurement by inserted metal temperature-sensing probe	Temperature of exhaust oil
Natural cooling type ordinary lubricating oil	40	45	75	80	-
Natural cooling type heat resistant lubricating oil	55	60	90	95	-
Water-cooling type	-	By agreement	-	80	-
Forced lubricating type ordinary lubricating oil	-	-	75	80	80

Kemudian dari hasil pengetesan vibrasi dan temperatur *bearing*, didapatkan Tabel 3 sebagai berikut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa amplitudo getaran tertinggi terjadi pada sisi Pump DE horizontal sebesar 63,8 μm dan Pump NDE horizontal sebesar 56,4 μm . Nilai ini melampaui batas JIS B8301 Annex 2 Fig. 1, sehingga dinyatakan tidak memenuhi standar kelayakan operasi. Sementara itu, hasil pengukuran temperatur menunjukkan sebagian besar titik masih di bawah ambang batas 75 °C, namun Drive DE mencapai 81 °C, melebihi batas maksimum yang diizinkan menurut JIS B8301 Annex 2 Table 1. Kombinasi getaran tinggi dan tem-

peratur berlebih mengindikasikan adanya keausan pada sistem penyekat, ketidakseimbangan impeler, serta potensi penyimpangan alignment antara motor dan pompa.

Tabel 3. Vibration Measurement for Load Test

Test Type	Time (minutes)			Confirmity	
	12:20	12:35	12:50	OK	NOT OK
a. Vibration (1/1000 mm)				<i>According to JIS B8301 Annex 2 Fig. 1</i>	
Pump NDE				Unit 1/1000 mm	
Vertical	42,8	44,1	44		√
Horizontal	56,4	58,2	55,8		√
Axial	48,7	49,3	50,9		√
Pump DE					
Vertical	51,3	52	50,7		√
Horizontal	63,8	62,5	62,9		√
Axial	39,5	40,1	38,9		√
Drive DE					
Vertical	36,2	37	35,6		√
Horizontal	41,7	42,3	40,9		√
Axial	45,6	46,2	45		√
Drive NDE					
Vertical	28,9	29,8	29,1	√	
Horizontal	34,6	35,2	34	√	
Axial	38,1	38,7	37,9		√
b. Temp. Bearing (°C)				<i>According to JIS B8301 Annex 2 Table. 1</i>	
Pump NDE	62,4	64,1	63	√	
Pump DE	68,1	69,8	70,2	√	
Drive DE	78,3	79,5	81		√
Drive NDE	70	71,3	69,7	√	

D. Analisis Efisiensi Pompa pada Kondisi Aktual

Diperlukan perbandingan antara nilai hasil perhitungan dengan data pabrikan untuk mengetahui seberapa besar nilai penurunan efisiensi pompa untuk mempermudah menganalisa, pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Perbandingan Kondisi Aktual X Data Pabrikan

Parameter	Nilai Aktual	Nilai Pabrikan	Selisih	Deviasi	Analisa
Debit Aliran	121,3 m ³ /jam (0,0337 m ³ /det)	128 m ³ /jam (0,0356 m ³ /det)	-6,7 m ³ /jam (-0,0019 m ³ /det)	-5,23 %	Debit aktual lebih rendah dari pabrikan, menunjukkan kapasitas pompa berkurang.
Daya Input	17,4 kW	15,2 kW	+2,2 kW	+14,47 %	Daya input aktual lebih tinggi, artinya konsumsi energi pompa meningkat.
Daya Hidrolik	11,3552 kW	11,9803 kW	-0,6251 kW	-5,21 %	Daya hidrolik aktual lebih rendah, menandakan transfer energi ke fluida menurun.

Efisiensi Pompa	65,26 %	79 %	-13,74 %	-17,39 %	Efisiensi turun signifikan menunjukkan adanya <i>losses</i> akibat kondisi operasional atau keausan komponen.
-----------------	---------	------	----------	----------	---

Berdasarkan analisa, debit aliran dan daya hidrolik aktual lebih rendah dibandingkan data pabrikan, sementara daya input lebih tinggi sehingga menyebabkan efisiensi pompa menurun signifikan. Kondisi ini menunjukkan adanya penurunan performa pompa yang kemungkinan disebabkan oleh kerugian energi atau keausan komponen. Hasil ini mengindikasikan adanya penurunan performa pompa yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kebocoran pada *seal* (*Gland packing*) yang sudah aus dan kehabisan umur masa pakai [10].



Gambar 2. Kerusakan yang terjadi pada *Gland packing* yang telah habis umur pakai.

Gland packing yang ditunjukkan pada Gambar 2 mengalami keausan berat sehingga permukaannya tampak tidak rata akibat gesekan berlebih dengan poros. Selain itu, serabut penguat pada beberapa bagian terlihat rusak dan terkelupas, menandakan material sudah kehilangan kekuatan mekanisnya. Kondisi ini diperparah dengan adanya deformasi bentuk, dimana *packing* tampak tidak lagi seragam dan cenderung pipih akibat tekanan yang tidak merata selama pemasangan maupun pengoperasian. Secara keseluruhan, kondisi tersebut menunjukkan bahwa *gland packing* telah melampaui umur pakainya sehingga kehilangan elastisitas dan kemampuan sealing yang optimal. Keadaan ini berdampak pada meningkatnya kebocoran fluida dari area sealing, yang menyebabkan sebagian debit aliran hilang dan tidak dimanfaatkan secara efektif. Akibatnya, daya hidrolik yang dihasilkan berkurang dan efisiensi pompa mengalami penurunan dibandingkan nilai rujukan pabrikan.

E. Diagnosa Penyebab Penurunan Kinerja

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, faktor utama penyebab penurunan performa pompa adalah:

- Keausan *gland packing* sehingga terjadi kebocoran fluida;
- *Overheating* pada *bearing Drive DE* akibat gesekan berlebih;
- Getaran tinggi di sisi *Pump DE* akibat ketidakseimbangan *impeller* atau ketidaksejajaran (*misalignment*);
- Peningkatan konsumsi daya input akibat *mechanical losses*.

Faktor-faktor tersebut saling mempengaruhi dan memperkuat dampak penurunan efisiensi pompa secara keseluruhan.

F. Rekomendasi Tindakan Korektif dan Optimalisasi

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penurunan efisiensi dan gangguan mekanik pada pompa CEN 100×80–160 dapat dikoreksi melalui serangkaian tindakan teknis yang terstruktur. Rekomendasi berikut disusun berdasarkan acuan teknis dari API 610, ISO 5199, ISO 10816/20816, dan ISO 1940-1 yang mengatur keseimbangan, getaran, serta sistem penyekatan pada pompa sentrifugal industri.

• **Balancing Impeller Berdasarkan ISO 1940-1**

Hasil pengukuran getaran yang melebihi batas standar menunjukkan indikasi ketidakseimbangan massa pada impeller. Untuk mengatasinya, dilakukan proses balancing dinamis sesuai ISO 1940-1: *Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state*.

- Kelas balancing yang direkomendasikan: Grade G6.3 untuk impeller berdiameter 160 mm dengan kecepatan 2930 rpm.
- Metode *balancing*: *Two-plane dynamic balancing* menggunakan balancing machine tipe hard bearing, agar ketidakseimbangan statis dan dinamis dapat dikoreksi sekaligus.
- Toleransi maksimum ketidakseimbangan residual:

$$e_{\text{permissible}} = \frac{9549 \times G}{n} \quad (3)$$

Dimana $G = 6,3 \text{ mm/s}$ dan $n = 2930 \text{ RPM}$, sehingga diperoleh $e_{\text{permissible}} = 20,53 \text{ } \mu\text{m}$.

- Evaluasi hasil balancing: setelah koreksi, amplitudo getaran diharapkan turun hingga di bawah 4.5 mm/s RMS sesuai ISO 10816-3 kategori mesin pompa medium rigid.

Langkah ini bertujuan mengurangi gaya sentrifugal tak seimbang yang menyebabkan *vibration overload*, serta memperpanjang umur *bearing* dan *seal*.

• **Re-alignment Motor dan Pompa**

Ketidaksejajaran (*misalignment*) antara kopling motor dan poros pompa dapat menimbulkan gaya lentur, mempercepat keausan bearing, dan meningkatkan konsumsi daya. Koreksi *alignment* dilakukan dengan metode laser *alignment*, mengacu pada API 610 dan ISO 1940-1 Annex B.

- Alat yang digunakan: *Laser shaft alignment tool* (mis. *Fixturlaser EVO* atau *Pruftechnik Optalign Smart*).
- Target hasil *alignment*: *Angular misalignment* $\leq 0,1 \text{ mm/100 mm}$, *Offset misalignment* $\leq 0,05 \text{ mm}$.
- Tahapan kerja: Melakukan pengecekan awal *soft foot* motor, mengatur elevasi kaki motor menggunakan *shim stainless*, melakukan koreksi horizontal dengan penggeseran motor hingga hasil pengukuran memenuhi toleransi.

Setelah *re-alignment*, amplitudo getaran aksial diharapkan menurun hingga di bawah $40 \text{ } \mu\text{m}$ sesuai JIS B8301 Annex 2 Fig. 1.

• **Penggantian Gland Packing menjadi Mechanical Seal**

Kebocoran fluida akibat *gland packing* yang aus menjadi penyebab utama kehilangan debit efektif dan peningkatan konsumsi daya. Oleh karena itu, sistem penyekatan direkomendasikan diganti menggunakan *mechanical seal* tipe tunggal (single end-face) sesuai API 682 Plan 62 atau ISO 5199 Section 7.2.

- Jenis seal: *Cartridge-type mechanical seal* dengan *stationary seat carbon–SiC* dan *rotary face SiC–TC*.
- Tekanan kerja: hingga 10 bar , dengan temperatur fluida $\leq 80 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- Sistem pelumasan dan pendingin: *Seal flush Plan 62* menggunakan air pendingin eksternal untuk mencegah *dry running*.

- Keunggulan teknis: menghilangkan kebocoran eksternal, menurunkan gesekan poros, dan menjaga efisiensi tetap stabil jangka panjang.

Dengan penerapan mechanical seal, kehilangan debit akibat kebocoran (leakage losses) dapat ditekan hingga $< 0,1\%$ dari total kapasitas nominal pompa.

- **Pemeriksaan dan Pelumasan Bearing**

Overheating pada Drive DE bearing hingga $81\text{ }^{\circ}\text{C}$ mengindikasikan penurunan kualitas pelumasan atau keausan bola bantalan. Berdasarkan ISO 5199 dan SKF *Maintenance Manual*, langkah koreksi dilakukan melalui:

- Penggantian *grease* menggunakan tipe *lithium complex high-temperature grease* (NLGI Grade 2).
- Penjadwalan *re-greasing* interval setiap 2000 jam operasi atau saat temperatur melebihi $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pengukuran temperatur rutin menggunakan *infrared thermal gun* dengan ambang batas peringatan (*alert limit*) $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan batas bahaya (*danger limit*) $85\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pemeriksaan kondisi permukaan *raceway* dan *cage* untuk mendeteksi *pitting* atau *spalling*.

- **Pemantauan Temperature dan Getaran Secara Berkala**

Untuk mencegah penurunan performa di masa mendatang, sistem monitoring kondisi (*condition monitoring system*) perlu diterapkan secara berkala.

- Parameter pemantauan: getaran, suhu bearing, dan konsumsi daya motor.
- Frekuensi inspeksi: minimal 1 kali per minggu atau setelah 150 jam operasi.
- Alat ukur: *vibration meter*, *infrared thermal gun*, dan *clamp power analyzer*.
- Standar acuan batas getaran: ISO 20816-1 untuk kategori mesin pompa berdaya $\leq 100\text{ kW}$.

Dengan penerapan pemantauan berbasis kondisi, potensi kegagalan dapat dideteksi sebelum menimbulkan kerusakan signifikan, sehingga biaya *downtime* dan *maintenance* dapat ditekan hingga 30–40%.

- **Evaluasi Efisiensi dan Revalidasi Performa**

Setelah tindakan korektif dilakukan, perlu dilakukan revalidasi performa pompa melalui uji ulang efisiensi. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi beban penuh dan *steady-state* untuk memastikan peningkatan efisiensi aktual.

- Parameter uji ulang: debit, *head*, daya input, efisiensi, getaran, dan temperatur *bearing*.
- Kriteria keberhasilan: efisiensi aktual minimal 75% dari nilai pabrikan dan amplitudo getaran $\leq 4.5\text{ mm/s RMS}$.
- Dokumentasi hasil: dicatat dalam maintenance logbook sesuai ISO 5199 Appendix B untuk perencanaan perawatan preventif berikutnya.

Dengan menerapkan langkah-langkah tersebut, diharapkan performa pompa CEN 100×80–160 dapat mendekati kondisi pabrikan, efisiensi meningkat dan umur komponen utama (bearing, seal, poros) bertambah hingga 1,5–2 kali lipat dibandingkan kondisi sebelumnya.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis yang dilakukan, kinerja pompa sentrifugal CEN 100×80–160 pada sistem *cooling water* kondensor menunjukkan penurunan performa dibandingkan data pabrikan. Debit aktual menurun sebesar 5,23%, daya input meningkat 14,47%, daya hidrolik berkurang 5,21%, dan efisiensi turun signifikan menjadi 65,26%, atau 17,39% lebih rendah dari spesifikasi nominal. Analisis kondisi mekanik mengonfirmasi adanya getaran berlebih pada sisi Pump DE horizontal sebesar $63,8\text{ }\mu\text{m}$ yang melebihi batas JIS B8301 Annex 2 Fig. 1, serta temperatur bearing Drive DE mencapai $81\text{ }^{\circ}\text{C}$, melampaui batas maksimum yang

diizinkan JIS B8301 Annex 2 Table 1. Temuan ini mengindikasikan terjadinya ketidakseimbangan *impeller*, *misalignment* antara motor dan pompa, serta keausan *gland packing* yang menyebabkan kebocoran fluida.

Untuk mengoptimalkan performa, tindakan korektif direkomendasikan meliputi *balancing* dinamis *impeller* sesuai ISO 1940-1 kelas G6.3, *re-alignment* motor–pompa dengan laser *alignment method* berdasarkan API 610, penggantian *gland packing* dengan *mechanical seal* tipe *cartridge single end-face* sesuai API 682 Plan 62, peningkatan sistem pelumasan *bearing* menggunakan *lithium complex grease* berdaya tahan tinggi serta monitoring kondisi berbasis getaran dan temperatur secara berkala sesuai ISO 20816-1. Implementasi rekomendasi ini diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi pompa, menurunkan amplitudo getaran hingga di bawah 4,5 mm/s RMS, serta memperpanjang umur komponen utama (*bearing*, *seal*, dan poros) hingga 1,5–2 kali lipat dibandingkan kondisi sebelum perbaikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Igor Karassik, Joseph Messina, Paul Cooper, Charles Heal, "Pump Handbook". McGraw Hill Professional, 2008.
- [2] Kadriadi, A. S. Opu, K. W. Wirakusuma, and A. B. Pratama, "Implementasi Preventive Maintenance pada Pompa Sentrifugal Departemen Stainless Steel PT. Guang Ching Nikel and Stainless Steel," SINERGI Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 5, no. 1, pp. 153–162, 2024, [Online]. Available: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- [3] Z. K. Ginting, Helmizar, and A. Puspawan, "Maintenance pada Pompa Sentrifugal Kewpump," Rekayasa Mekanika, vol. 8, no. 1, 2024.
- [4] PT. Torishima Guna Indonesia. "Torishima Pump Handbook". 2011.
- [5] G. Bei, X. Xu, C. Ma, J. Sun, Y. Zhang, and Q. Yu, "Reliability Evaluation of a Dynamic-Pressure Mechanical Seal Based on Liquid Film Vaporization Phase Transition," Coatings, vol. 14, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/coatings14020233.
- [6] J. G. Cahyana and A. Budihadi, "Perancangan Mechanical Seal untuk Pompa 5M Washington Menggunakan Sistem API Plan 62 dan Standar API 682," Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM), vol. 1, no. 3, pp. 1–11, 2023, doi: 10.22441/jonem.v1i3.16521.
- [7] ISO 5199. "Technical Specification For Centrifugal Pump-Class II Data Sheet". 2002.
- [8] ISO 20816-5:2018. "Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants". 2018.
- [9] Zi, M.; Ye, J.; Cai, H.; Yang, H.; Chen, G.; Zhang, J.; Li, D.; Lu, D. "Experimental Study on Temperature Rise of New Energy Vehicle Drive Motor Bearings Under Grease and Driving Conditions". Lubricants 2025, 13, 526. <https://doi.org/10.3390/lubricants13120526>
- [10] W. Chaojun, Z. Weibing, Z. Lin, Y. Zhaoqiang, W. Heshun, and Y. Jinglong, "Failure Mechanism and Improvement Measures of Mechanical Seal for Slurry Pump Based on FMEA," vol. 41, no. 3, 2022, doi: 10.12198/j.issn.1673.

Daftar Simbol

P_{hyd}	=	Daya hidrolik, kW
η_{pump}	=	Efisiensi pompa, %
ρ	=	Densitas, kg/m ³
Q	=	Debit aliran, m ³ /jam
H	=	Head pompa, m
$e_{permissible}$	=	Allowable specific unbalance, μm
G	=	Grade kualitas balancing, mm/s
n	=	Kecepatan putaran rotor, RPM
P_{in}	=	Daya input, kW