

Evaluasi Kondisi Dan Keandalan Pompa Sentrifugal P-2003 JB Pada Sistem Cooling Tower Berbasis Getaran RMS (ISO 108163) Dengan Analisis Head -Efisiensi Serta FMEA Dan RCFA (5 Why)

Leo sanjaya¹, Iman satria²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta
leosanjaya2001@gmail.com

ABSTRAK

Pompa sentrifugal pada sistem *Cooling Tower* berperan penting menjaga kontinuitas sirkulasi udara pendingin sehingga pendinginannya menjadi faktor penting dalam operasi industri. Penelitian ini bertujuan mengumpulkan kondisi dan kinerja pompa sentrifugal *single stage* P-2003 JB melalui analisis getaran, perhitungan head, estimasi efisiensi, serta analisis kegagalan untuk menentukan prioritas penanganan dan akar penyebab paling mungkin. Metode penelitian berupa studi kasus dengan pengumpulan data parameter operasi (tekanan suction dan debit, beda elevasi, serta kecepatan aliran) dan data getaran kecepatan RMS pada beberapa periode pengukuran. Evaluasi kondisi dilakukan dengan trending RMS dan klasifikasi ISO 10816-3, sedangkan performa dihitung menggunakan persamaan energi (*Bernoulli*). Efisiensi pompa dihitung berdasarkan perbandingan daya hidrolik terhadap daya input sesuai data yang digunakan pada penelitian. Analisis kegagalan dilakukan menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* dan *Root Cause Failure Analysis (RCFA)* metode 5-Mengapa.

Kata Kunci: pompa sentrifugal, *Cooling Tower*, getaran RMS, ISO 10816-3, head total, efisiensi, *FMEA*, *RCFA*

ABSTRACT

Centrifugal pumps in the Cooling Tower system play an important role in maintaining the continuity of cooling air circulation so that cooling becomes an important factor in industrial operations. This study aims to collect the condition and performance of the P-2003 JB single-stage centrifugal pump through vibration analysis, head calculation, efficiency estimation, and failure analysis to determine the priority of treatment and the most likely root causes. The research method is a case study with data collection of operating parameters (suction and discharge pressures, elevation differences, and flow rates) and RMS velocity vibration data in several measurement periods. Condition evaluation is carried out using RMS trending and ISO 10816-3 classification, while performance is calculated using the energy equation (Bernoulli). Pump efficiency is calculated based on the ratio of hydraulic power to input power according to the data used in the study. Failure analysis is carried out using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Root Cause Failure Analysis (RCFA) 5-Why method

Keyword: entrifugal pump, Cooling Tower, RMS vibration, ISO 10816-3, total head, efficiency, FMEA, RCFA

PENDAHULUAN

Pompa sentrifugal merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem utilitas industri, termasuk pada sistem *Cooling Tower* yang berfungsi membuang panas melalui sirkulasi udara pendingin. Keandalan pompa pada sistem *Cooling Tower* menjadi kritis karena pompa umumnya beroperasi terus menerus dalam durasi yang panjang. Pompa yang terganggu dapat menyebabkan penurunan kinerja, peningkatan konsumsi energi, timbulnya kebocoran, serta *downtime* pengoperasian. Hariady, S. (2014). Dalam pengoperasian lapangan, indikator awal penurunan kondisi pompa sering terlihat dari meningkatnya getaran (getaran) dan munculnya gejala tidak normal seperti suara tidak normal, kebocoran pada segel mekanis, atau penurunan kinerja aliran. Getaran pada peralatan yang berputar tidak hanya menjadi gejala, tetapi juga dapat menyebabkan terjadinya percepatan kerusakan komponen (misalnya bearing dan seal) bila melebihi batas yang direkomendasikan standar. Oleh karena itu, pemantauan kondisi pompa melalui pengukuran getaran serta evaluasi kinerja pompa melalui parameter head dan efisiensi menjadi penting untuk mencegah kegagalan berulang. Bahrin, R., & Mustaffa, N. (2024).

Objek pada penelitian ini adalah pompa sentrifugal single stage P-2003 JB pada sistem *Cooling Tower*. Berdasarkan data pengukuran, nilai getaran pompa menunjukkan kecenderungan meningkat dari waktu ke waktu hingga berada pada tingkat yang memerlukan perhatian serius berdasarkan standar acuan. Di sisi lain, kinerja pompa juga perlu dievaluasi melalui perhitungan head dan efisiensi agar dapat dinilai apakah pompa masih bekerja sesuai kebutuhan sistem atau mengalami penurunan kinerja. Untuk memastikan tindakan perbaikan tidak hanya mengatasi gejala, penelitian ini juga memanfaatkan pendekatan analisis kegagalan menggunakan *FMEA* metode proaktif untuk mengidentifikasi potensi kegagalan sebelum terjadi dan dampaknya, untuk memetakan prioritas mode kegagalan dan *RCFA* metode reaktif untuk menemukan akar penyebab kegagalan yang sudah terjadi. Keduanya digunakan dalam manajemen risiko dan perawatan mesin untuk meningkatkan keandalan sistem untuk menelusuri akar penyebab paling mungkin. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi dan kinerja pompa secara lebih sistematis, serta menghasilkan rekomendasi tindakan korektif dan preventif yang dapat diterapkan guna meningkatkan kinerja pompa. Sandro, Y. S. N., & Rusindiyanto, R. (2025)

Tujuan Penelitian

- Mengevaluasi kondisi pompa P-2003 JB melalui analisis tren getaran RMS dan klasifikasi tingkat keparahan mengacu pada ISO 10816-3 .
- Menghitung head total pompa berdasarkan persamaan energi (Bernoulli) menggunakan data tekanan, elevasi, dan kecepatan aliran.
- Menghitung/menentukan efisiensi pompa berdasarkan hubungan daya hidrolik dan daya input yang digunakan pada penelitian.
- Menyusun *FMEA* untuk memetakan mode kegagalan komponen utama pompa serta menentukan prioritas penanganan.
- Melakukan *RCFA* (metode 5-Mengapa) untuk mengidentifikasi akar penyebab paling mungkin dan merumuskan rekomendasi tindakan korektif dan *preventif*.

METODE PENELITIAN

Inspeksi *Visual* dan *Noice*

Analisis getaran pada pompa sentrifugal merupakan langkah penting dalam memastikan konsistensi dan kinerja sistem pompa. Pompa sentrifugal sering mengalami getaran akibat faktor mekanis seperti ketidakseimbangan impeler, ketidaksejajaran antara poros pompa dan motor, atau keausan pada bantalan. Getaran yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan komponen secara bertahap, meningkatkan konsumsi energi, serta menurunkan efisiensi aliran fluida. Oleh karena itu, analisis getaran dilakukan untuk mengidentifikasi sumber gangguan secara dini dan mencegah kerusakan fatal pada sistem. Pengukuran biasanya dilakukan menggunakan sensor akselerometer yang dipasang di titik-titik strategis, seperti bantalan pompa dan rumah pompa.

Analisis getaran

Analisis getaran pada pompa sentrifugal merupakan langkah penting dalam memastikan konsistensi dan kinerja sistem pompa. Pompa sentrifugal sering mengalami getaran akibat faktor mekanis seperti ketidakseimbangan impeler, ketidaksejajaran antara poros pompa dan motor, atau keausan pada bantalan. Getaran yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan komponen secara bertahap, meningkatkan konsumsi energi, serta menurunkan efisiensi aliran fluida. Oleh karena itu, analisis getaran dilakukan untuk mengidentifikasi sumber gangguan secara dini dan mencegah kerusakan fatal pada sistem. Pengukuran biasanya dilakukan menggunakan sensor akselerometer yang dipasang di titik-titik strategis, seperti bantalan pompa dan rumah pompa.

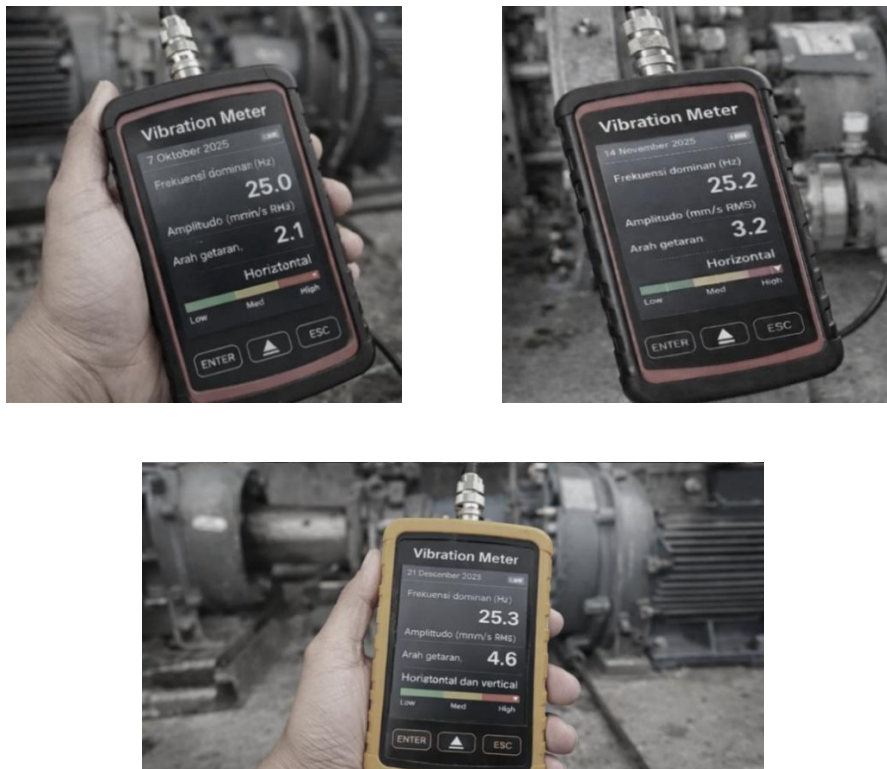
Kategori Getaran Berdasarkan Standart ISO 10816-3

A	< 0.71	Getaran sangat rendah
B	0.71 – 1.80	Getaran dapat diterima
C	1.80 – 4.50	Getaran perlu perhatian
D	> 4.50	Getaran berbahaya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Pengukuran RMS

Tanggal	Frekuensi dominan (Hz)	Amplitudo (mm/s RMS)	Arah getaran dominan
7 Oktober	25.0	2.1	Horizontal
14 november	25.2	3.2	Horizontal
21 desember	25.3	4.6	Horizontal dan vertical



Gambar 1 Pengukuran Vibration pompa 2003

Berdasarkan standar ISO 10816-3, nilai RMS 2,1 mm/s (Oktober) termasuk zona C (perlu perhatian), 3,2 mm/s (November) masih zona C, dan 4,6 mm/s (Desember) masuk zona D (berbahaya). Peningkatan amplitudo getaran dari 2,1 menjadi 4,6 mm/s menunjukkan adanya degradasi progresif kondisi pompa. Frekuensi dominan sekitar 25 Hz setara dengan putaran 1500 rpm ($1 \times \text{RPM}$), mengindikasikan adanya ketidakseimbangan (unbalance) pada rotor.

Perhitungan Head Total

Tabel 2 Data Parameter Pompa P – 2003 JB

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tekanan isap	P_S	-30 kPa	- 30.000 N/m ²
Tekanan Keluaran	P_D	460 kPa	460.000 N/m ²
Perbedaan ketinggian titik ukur ($Z_D - Z_S$)	$Z_D - Z_S$	3.0	M
Kecepatan cairan sisi hisap	V_S	1,8	MS
Kecepatan cairan sisi keluaran	V_D	2,8	MS
Massa jenis air	ρ	1000	kg / m ³
Gravitasi	G	9,81	m / s ²

Perhitungan Head total Pompa

- $$H = \frac{P_D - P_S}{\rho \cdot g} + (Z_D - Z_S) + \left(\frac{V_D^2 - V_S^2}{2 \cdot g} \right)$$
- $$H = \frac{(460000) - (-30000)}{1000 \times 9,81} + 3,0 + \frac{2,8^2 - 1,8^2}{2 \times 9,81}$$
- $460.000 - (-30000) = 490.000$
- $\frac{490000}{1000 \times 9,81} = \frac{490000}{9810} = 49,95 \text{ M} + 3,0 + 0,23 = 53,18 \text{ M}$
- Maka Head total pompa yang dihasilkan sebesar 53,18 M

Perhitungan Efisiensi Pompa

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

G = Gravitasi (9,81 m/s²)

Q = Debit aliran (m³/s)

H = Jumlah total head (m)

P_{batang} = Daya mekanik pada poros (Watt)

$$\eta_P = \frac{\rho G Q H}{P_{batang}} \times 100\%$$

$$\frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,4 \cdot 53}{350} \times 100\%$$

Maka Efisiensi yang diperoleh pompa sentrifugal tipe P – 2003 JB sebesar 59 %

Pembahasan Indikasi Kerusakan Komponen Utama

Kerusakan Impeller: Ditemukan retak (crack) pada impeller yang disebabkan oleh dua kemungkinan mekanisme: (1) terhisapnya benda asing/material melalui suction pipa sehingga mengakibatkan benturan terhadap impeller, dan (2) kavitasi akibat tekanan pada sisi isap turun di bawah tekanan uap jenuh. Kavitasi menyebabkan gelembung uap yang kolaps secara tiba-tiba menghasilkan tekanan lokal sangat tinggi yang mengikis permukaan impeller. Dalam konteks dinamika rotor, crack pada impeller menyebabkan ketidakseimbangan massa (unbalance) yang menghasilkan gaya sentrifugal dan memunculkan komponen getaran dominan pada 1×RPM (~25 Hz), sesuai dengan data pengukuran.

Kerusakan Mechanical Seal: Kebocoran mechanical seal disebabkan oleh runout poros akibat getaran tinggi dan kondisi operasi abnormal seperti dry running (level cooling tower rendah). Dry running menyebabkan gesekan tinggi langsung pada seal faces, meningkatkan suhu secara drastis dan merusak permukaan seal.

Kerusakan Bearing: Kerusakan bearing disebabkan oleh pelumasan tidak memadai, kontaminasi partikel padat, ketidaksejajaran (misalignment) antara poros pompa dan motor, serta getaran berlebih akibat unbalance rotor. Hal ini menimbulkan beban radial dan aksial tidak merata, keausan, dan akhirnya kegagalan bearing.



Gambar 2 Kerusakan Komponen Utama

Analisis Mode Kegagalan dan Dampak (FMEA)

Tabel 3 Mode Kegagalan FMEA

Komponen	Mode	Dampak	Bukti	Penyebab
Impeller	kegagalan		penelitian	
	Retak / kerusakan sudu sudu	<i>Vibrasi</i> naik efesiensi menurun	Temuan impeller retak	Benda asing , kavitasi, erosi/korosi
Bantalan	Keausan panas berbelihan	Getaran meningkat, seal cepat rusak	Temuan bantalan Damage	Pelumasan buruk , kontaminasi oleh partikel debu, pasir, air dan getaran dan ketidak seimbangan (<i>unbalance</i>)
Mechanical seal	Kebocoran segel rusak	Penurunan efesiensi, Peningkatan vibration	Temuan segel rusak	Dry running , runout poros, kavitasi dan vibrasi

Analisis Akar Penyebab Kegagalan (RCFA) dengan Metode 5-Why**Tabel 4 RCFA**

Tahapan	Pertanyaan	Temuan
Masalah utama	Apa masalah yang terjadi	Pompa P -2003 JB mengalami peningkatan getaran Rms hingga 4,6 mm/s dan disertai kerusakan beberapa komponen pada pompa
Why 1	Mengapa getaran pompa meningkat hingga katagori berbahaya	Karena terjadinya ketidak seimbangan gaya dinamis pada system rotor selama beroperasi
Why 2	Mengapa terjadi ketidak seimbangan rotor	Karena beberapa komponen pada pompa mengalami kerusakan imppeler mengalami retak / crack dan keausan sehingga distribusi massa tidak merata
Why 3	Mengapa impeller mengalami crack	Karena adanya kavitasi dan benturan terhadap matrial/benda yang terhisap
Why 4	Mengapa kavitasi dapat terjadi	Saringan strainer tersumbat dan mengambat aliran air masuk, Hambatan aliran ini menyebabkan penurunan tekanan yang drastis di sisi isap pompa dan juga dipengaruhi suhu cairan yang tinggi
Why 5	Mengapa saringan strainer dapat tersumbat	kumulasi kotoran, partikel padat, lumpur, pasir, atau karat yang terperangkap dalam elemen penyaring (mesh) seiring berjalannya waktu. Penyebab utamanya meliputi perawatan yang jarang

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

1. Getaran pompa P-2003 JB meningkat secara progresif dari 2,1 mm/s menjadi 4,6 mm/s, dan berdasarkan ISO 10816-3 termasuk kategori D (berbahaya). Frekuensi dominan 25 Hz mengindikasikan ketidakseimbangan rotor.
2. Head total pompa sebesar 53,18 m masih memenuhi kebutuhan sistem, namun efisiensi hanya 59%, jauh di bawah nilai desain ideal.
3. Kerusakan komponen utama meliputi impeller retak, mechanical seal rusak, dan bantalan aus. Ketiga kerusakan ini saling berkaitan dan diperparah oleh getaran tinggi.

4. FMEA menunjukkan prioritas penanganan pada impeller, bantalan, dan mechanical seal.
5. RCFA mengungkap akar penyebab utama adalah kavitasi akibat penyumbatan strainer dan kurangnya perawatan preventif, yang memicu kerusakan berantai.
Rekomendasi tindakan meliputi: pembersihan strainer secara rutin, pemasangan kontrol level otomatis untuk mencegah *dry running*, penyeimbangan rotor, penggantian komponen rusak, serta penerapan program pemeliharaan prediktif berbasis getaran.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT RAPP yang telah memberikan fasilitas dan dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada Bapak Ir. Iman Satria, ST., MT., IPM., ASEAN Eng. atas bimbingan dan arahan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Melkias, A. A., Indriyani, I., & Fadian, F. (2024). Analisis Kerusakan pada Rotor Pompa Sentrifugal G-1-12-C di PT X. *Jurnal Surya Teknik*, 11(2), 585-592.
- Rumaherang, W. M., Refwalu, C., Tupamahu, C. S., Sarwuna, S. J. E., & Rumaherang, E. J. (2023). Evaluasi kinerja pompa sentrifugal berkapasitas 600 kl/hr pada sistem pemompaan minyak. *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, 3(1), 17-27.
- Devin, H., Abu, R., & Mukhnizar, M. (2023). ANALISIS PENURUNAN KINERJA POMPA SENTRIFUGAL EBARA 125 X 100 FS4KA DI KOLAM LATIH WATER PIT POLITEKNIK PELAYARAN SUMATERA BARAT. *Jurnal Vokasi Mekanika*, 5(4), 385-394.
- Silitonga, A. S., & Agustini, A. R. (2023). PERFORMANSI VIBRASI POMPA PADA POMPA STEAM CONDENSATE PUMP (G-2707). *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 4(1), 849-857.
- Rasyid, M. A., Ritonga, D. A. A., Aldori, Y. R., Yusnita, E., Wijayanto, E. H., & Idris, M. (2023). Analisis Pengaruh Tinggi Hisap Pompa Sentrifugal Terhadap Kapasitas Dan Efisiensi Pompa. *Journal Of Mechanical Engineering Manufactures Materials And Energy*, 7(2), 146-157.
- Abdurrahman, R., & Ilhan, M. R. (2024). Analisis Efisiensi Fire Pump 717-P-3 Emergency Water Pump Jetty 1 (Marine) PT. Pertamina (Persero) RUII Production Sungai Pakning. *Jurnal Surya Teknik*, 11(1), 75-80.
- Darmawan, S. A. (2016). Pompa Sentrifugal. *Universitas Sebelas Maret*, 1, 4-5.
- Rasyid, M. A. (2022). *Analisa Pengaruh Tinggi Hisap Pompa Sentrifugal Terhadap Kapasitas dan Efisiensi Pompa* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Are).
- Saksono, P. (2011). Analisis efisiensi pompa centrifugal pada instalasi pengolahan air kampung damai Balikpapan. *PROTON*, 3(2).
- Alfalalah, W. (2018). Pemeliharaan Preventif Pompa Vakum STG PLTGU Unit 1 Tambak Lorok Semarang. *Power Plant*, 6(2), 521971.
- Utomo, J. B. (2019). *Analisa Simulasi Laju Aliran Pada Pompa Sentrifugal Terhadap Pengaruh Terjadinya Kavitasi* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surabaya).

YUSUF, B. (2019). *Analisis kerusakan impeller pompa sentrifugal air laut di MV. Oriental Jade* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK ILMU PELAYARAN SEMARANG).

Kusuma, J. A., & Utama, F. Y. (2019). Analisis Bearing Pada Pompa Sentrifugal Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Pt. Sier Menggunakan Program Preventive Maintenance Yang Terencana. *JPTM*, 8(1), 128-134.

Mesra, T. (2020). Analisis Perawatan Mesin Pompa Sentrifugal dengan Metoda Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Unitek*, 13(2), 39-46.

Ulum, M. B., Rarindo, H., Wicaksono, H., & Dani, A. (2023). Metode RCM Untuk Meningkatkan Kualitas Perawatan Pompa Sentrifugal. *Jurnal Teknologi*, 17(2), 13-20.

Fitrian, A. B., & Kundori, K. (2025). Analisis Kondisi Pompa Sentrifugal Berdasarkan Getaran Untuk Mencegah Kegagalan Pompa di Kilang Migas Cepu. *Jurnal Maritim Polimarin*, 11(1), 1-5.

Susilo, D. D. (2008). Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding Pada Pompa Sentrifugal Dengan Analisis Sinyal Getaran. *Jurnal Teknik Mesin FT UNS*, 7(1).

REZA, S. (2022). *ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN MECHANICAL SEAL TERHADAP PENGOPERASIAN CARGO OIL PUMP DI MT. SEPINGGAN* (Doctoral dissertation, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang).

Karassik, I., & McGuire, JT (Eds.). (2012). *Pompa sentrifugal*. Springer Science & Business Media.

Listewnik, K., Grzeczka, G., Kłaczyński, M., & Cioch, W. (2015). Aplikasi diagnostik online untuk evaluasi getaran mesin berdasarkan standar ISO 10816-1. *Jurnal Vibroengineering*, 17 (8), 4248-4258.

Mohammad, A. R. (2021). Penyebab Penurunan Kinerja Pompa Sentrifugal Terhadap Pendingin Mesin Induk. *Karya Tulis*.

Nugroho, GA, & Winarto, S. (2023). Perawatan Pompa Feed Sentrifugal Multi Stage di Unit Boiler. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 5 (2), 109-118.

Barszcz, T. (2018). *Metode analisis getaran standar. Dalam Pemantauan Kondisi Turbin Angin Berbasis Getaran (hlm. 9–45). Springer, Cham.*