

**JITS**

Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains

E-ISSN: 3025-8871 | <https://jurnal.akipba.ac.id/index.php/JITS>

Analisa Kinerja Operasional *Auxiliary Cooling Water Pump* Terhadap Vibrasi dan Kavitasi Di PLTP Unit 1 Patuha

(Operational Performance Analysis of Auxiliary Cooling Water Pump Vibration and Cavitation PLTP unit 1 Patuha)

Putri Sri Rezeki¹, Ayende², Yanuar Ramdhani³, Raka Anugrah Pratama⁴, Dzilan Moch Haeqal⁵

^{1,2} Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Indonesia

^{3,4,5} PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Patuha, Indonesia

¹putrirezeki123456@gmail.com, ²ayende@esdm.go.id, ³yanuarramdhani8@gmail.com, ⁴raka@geodipa.co.id, ⁵dzilan@geodipa.co.id

Penulis Korespondensi: Putri Sri Rezeki | **Email:** putrirezeki123456@gmail.com

Diterima (Received): 27/12/2024 Direvisi (Revised): 30/12/2024 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 30/12/2024

ABSTRAK

PT Geo Dipa Energi (Persero) unit Patuha menggunakan *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) jenis double suction centrifugal pump. *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) merupakan komponen dalam sistem pendingin sebuah instalasi industri terutama panas bumi. Pompa ini berfungsi untuk mengalirkan air pendingin ke berbagai peralatan dan komponen yang membutuhkan suhu operasi optimal. Namun, performa pompa dapat terganggu akibat masalah teknis seperti terjadinya vibrasi yang tinggi. Vibrasi yang tinggi pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) merupakan indikasi adanya masalah yang perlu ditangani. Faktor vibrasi yang tinggi menjadi pertanda kerusakan pada bantalan (*bearing*) dilihat dari spektrum, maka dari itu untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan proses perbaikan dengan metode inspeksi atau pemeriksaan visual dilanjutkan dengan pemeriksaan kondisi menggunakan alat bantu vibration analysis untuk meningkatkan pemahaman mengenai penyebab vibrasi tinggi dan langkah mitigasi yang tepat untuk menjaga performa *Auxiliary Cooling Water Pump* dan menjamin kelangsungan operasional sistem secara keseluruhan. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pencatatan data harian pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) untuk dilakukan analisis perhitungan daya motor, daya pompa, dan efisiensi. Penurunan performa pompa yang diakibatkan oleh vibrasi tinggi akan berdampak langsung pada keseluruhan sistem pendingin. Akibatnya, peralatan lain yang bergantung pada suplai air pendingin dari pompa tersebut dapat mengalami *overheating* bahkan *shutdown* jika masalah ini tidak segera ditangani. Dari hasil perhitungan didapatkan daya motor ketika terjadi vibrasi yang tinggi yaitu 141,68 kW dan efisiensi pompa 73,57% sedangkan hasil daya motor setelah dilakukan perbaikan yaitu 159,15 kW dan efisiensi pompa 81,12%. Efisiensi pompa mengalami kenaikan setelah dilakukan perbaikan sebesar 7,55%.

Kata Kunci: Auxiliary Cooling Water Pump, Vibrasi, Efisiensi

ABSTRACT

PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha uses *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) type double suction centrifugal pump. *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) is a component in the cooling system of an industrial installation, especially geothermal. This pump functions to deliver cooling water to various equipment and components that require optimal operating temperatures. However, pump performance can be disrupted due to technical problems such as high vibrations. High vibrations in the *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) is an indication of a problem that needs to be addressed. The high vibration factor is a sign of damage to the bearing seen from the spectrum, so to overcome this problem, an improvement process is carried out by the inspection method or visual inspection by a condition check using vibration analysis tools to improve understanding of the causes of high vibrations and appropriate mitigation steps to maintain the performance of the *Auxiliary Cooling Water Pump* and ensure the continuity of overall system operations. The methodology used in this study is recording daily data on the *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) to analyze the calculation of motor power, pump power, and efficiency. A decrease in pump performance caused by high vibrations will have a direct impact on the entire cooling system. As a result, other equipment that depends on the cooling water supply from the pump can overheat and even shutdown if this problem is not addressed immediately. From the calculation results, the motor power results when high vibrations occur are 141.68 kW and 73.57% pump efficiency while the motor power results after repairs are 159.15 kW and 81.12% pump efficiency. The increase in pump efficiency after repair is 7.55%.

Keywords: Auxiliary Cooling Water Pump, Vibration, Efficiency

© Author(s) 2024. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP) adalah jenis pompa sentrifugal yang banyak digunakan di berbagai industri, termasuk di PLTP Patuha. Fungsi ACWP sangat krusial dalam mengalirkan air pendingin ke berbagai peralatan yang membutuhkan suhu operasi optimal pada instalasi PLTP (Taufik & Kusmadi, 2023). ACWP juga berperan penting dalam proses kondensasi yang terjadi di dalam *inter condenser* dan *after condenser*, yakni dapat mendinginkan *Non-Condensable Gas* (NCG). Proses kondensasi NCG dilakukan dengan mengalirkan gas melalui kondensor yang didinginkan oleh air dari ACWP (Dencio & Firdausi, 2021).

Auxiliary cooling water pump adalah peralatan di PLTP yang digunakan untuk menyediakan air pendingin untuk *inter* dan *after condenser*. Dimana di dalam *inter* dan *after condenser* akan terjadi proses kondensasi untuk mendinginkan *Non Condensable Gas* (NCG). Proses kondensasi ini dilakukan agar NCG yang akan dibuang ke lingkungan dalam kondisi bersih dan kering, sehingga tidak mencemari lingkungan.

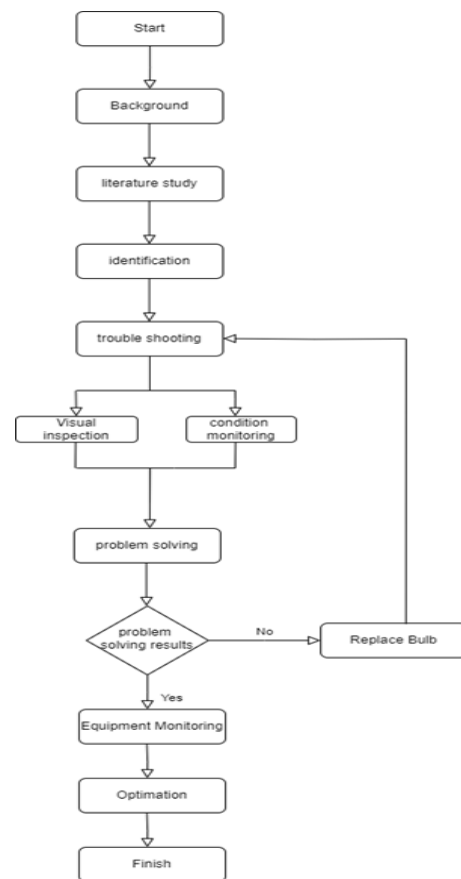
Saat ini *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) di PLTP unit 1 Patuha beroperasi dalam kondisi yang kurang optimal akibat kenaikan nilai vibrasi pada sisi *suction* dan *discharge*. Vibrasi yang tinggi pada ACWP ini menunjukkan adanya masalah teknis yang segera ditangani. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan vibrasi tinggi pada ACWP antara lain ketidakseimbangan pada *impeller*, *misalignment* antara motor dan pompa, keausan pada *bearing*, atau resonansi mekanis akibat frekuensi operasi yang bertepatan dengan frekuensi alami sistem. Selain itu, kavitasi atau gangguan aliran juga dapat memperburuk kondisi ini (Rasyid et al., 2023). Jika vibrasi tinggi tidak segera diatasi, hal ini dapat menyebabkan penurunan performa pompa yang berdampak langsung pada keseluruhan sistem pendinginan. Akibatnya, peralatan lain yang bergantung pada suplai air pendingin dari pompa tersebut berisiko mengalami *overheating* atau bahkan *shutdown*. Adapun tujuan dari penelitian ini agar dapat menganalisis dan mengetahui dampak-dampak terjadinya vibrasi dan kavitasi sehingga mekanik dapat menangani fenomena vibrasi dan kavitasi serta efisiensi setelah dilakukan perbaikan pada ACWP.

2. Data dan Metodologi

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pengumpulan data operasional (*data-driven analysis*) dan dilakukan di lokasi pembangkit listrik tenaga panas bumi. Penelitian dilakukan di pembangkit listrik tenaga panas bumi yang memiliki fasilitas *auxiliary cooling water pump*. Identifikasi area kerja pompa dan hubungannya dengan sistem pendinginan.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung, observasi visual, studi dokumentasi dan wawancara. Untuk metode analisis data dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, analisis kuantitatif dan standar acuan.

Untuk mempermudah dan menjadikan lebih sederhana dalam penjelasan dan menyelesaikan penelitian maka digunakan *flowchart* kerangka pemecahan masalah dibawah ini:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Langkah yang akan dilakukan dalam penelitian terhadap penanganan tingginya vibrasi dikarenakan faktor kavitasi yang disebabkan kurangnya flow pada pompa ACWP meliputi evaluasi awal peralatan uji, perhitungan awal parameter fluida pada alat uji, tata cara dalam melakukan uji eksperimen, serta pengolahan data hasil uji eksperimen. Pada PLTP unit Patuha, data hasil uji pada ACWP ini menggunakan *Root Cause Failure Analysis* (RCFA). *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) adalah proses untuk menentukan akar penyebab kegagalan tertentu untuk memutuskan tindakan perbaikan apa yang harus dilakukan untuk meringankan atau mengurangi kemungkinan masalah akan terulang kembali karena akar penyebab yang sama (Riddell, 2022). Dengan Strategi RCFA, pihak mekanik

dapat mencari tahu akar permasalahan kerusakan agar umur pakai suatu komponen di suatu mesin dapat bertahan lebih lama.

Perhitungan unjuk kerja *auxiliary cooling water pump* meliputi flow, head, daya, tegangan dan efisiensi adalah sebagai berikut :

a. Efisiensi pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{\eta_m \times P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

η_p : Efisiensi Pompa
 P_h : Daya Hidrolik (kW)
 η_m : Efisiensi motor
 P_{in} : Daya input (kW)

b. Daya Hidrolisis Pompa

$$P_h = \frac{Q \times H \text{ Total} \times \rho \times g}{1000} \quad (2)$$

Dimana :

P_h : Daya Hidrolik (Kw)
 $H \text{ total}$: Head Total (m)
 ρ : massa jenis fluida (kg/m)
 g : Gravitasi

c. Daya input

$$P_{in} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \pi}{1000} \quad (3)$$

Dimana :

P_{in} : Daya input (Kw)
 V : Voltage (V)
 I : arus listrik (A)

d. Daya poros

$$P_p = \frac{P_h}{\eta_p} \quad (4)$$

Dimana :

P_p : Daya poros (kW)
 P_h : Daya hidrolik (kW)
 η_p : efisiensi poros

e. Daya motor

$$P_m = \frac{P_p}{\eta_m} \quad (5)$$

Dimana :

P_m : Daya motor (kW)
 P_p : Daya poros (kW)
 η_m : efisiensi motor

Berdasarkan perhitungan yang telah dilampirkan, berbagai kemungkinan penyebab masalah diidentifikasi,

mencakup faktor teknis ataupun lingkungan seperti fenomena vibrasi yang disebabkan oleh beberapa faktor. Jika nilai vibrasi overall sudah relatif tinggi maka harus dilakukan *corrective action*. Analisis vibrasi sangat penting dalam memantau kondisi mesin guna mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi lebih serius (Teng et al., 2021). Adapun standar pengukuran vibrasi yaitu ISO-10816-3. Standard tersebut memberikan panduan dalam mengevaluasi tingkat keparahan yang dimiliki suatu peralatan (Harindah, 2024).

ISO 10816-3 vibration standard		Machine group 4 Integral driver		Machine group 3 External driver		Machine group 2 Motors 160 mm ≤ H ≤ 315 mm		Machine group 1 Motors 315 mm ≤ H	
Velocity mm/s rms in/sec rms		Pumps > 15 kW Radial, axial, mixed flow		Medium sized machines 15 kW ≤ P ≤ 300 kW		Large machines 300 kW < P ≤ 50 MW			
11	0.44								
7.1	0.28								
4.5	0.18								
3.5	0.11								
2.8	0.07								
2.3	0.04								
1.4	0.03								
0.71	0.02								
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

A New machine condition
B Unlimited long-term operation allowable
C Short-term operation allowable
D Vibration causes damage

Gambar 2. ISO-10816-3(ISO, 2009)

Vibrasi yang tinggi dapat mempengaruhi adanya fenomena lain seperti kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena perubahan fasa uap zat cair pada fluida yang mengalir. Gangguan kavitasi pada pompa ACWP akan berpengaruh pada penurunan tekanan maupun naiknya temperatur fluida, turbulensi dan pulsasi pada pipa hisap (Delly, 2009). Menurut (Thoma, 1926), NPSH proporsional terhadap *head* dan efisiensi kavitasi dinyatakan dengan perdamaan berikut :

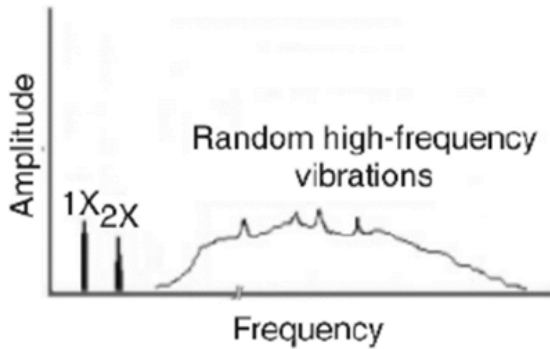
$$\sigma_{TH} = \frac{NPSH(\Delta H)}{H} \quad (6)$$

Dimana :

H : Head Total (m)
 ΔH : Net Positive Suction Head

Adapun amplitudo pada BPF (*Blade Pass Frequency*) dapat meningkat secara signifikan dikarenakan pompa mengalami perbedaan kecepatan pada putaran baling baling pompa dan diffuser.

$$BPF = \frac{\text{number of blade/van}}{60} \times \text{RPM} \quad (7)$$



Gambar 3. Spectrum vibrasi berdasarkan kavitasi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Auxiliary Cooling Water Pump (ACWP)

Hasil identifikasi ACWP PT. Geo Dipa Unit 1 Patuha ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data Spesifikasi Pompa ACWP

Type Pump	BB1
Merk	DMW
Type	NDF-SE-M
Size	14 x 101 mAh
Capacity	1380 m ³ /H
Head	33.3 m
Speed	SS1500 m1n
Power	175 kW

3.2 Data Hasil Inspeksi

Inspeksi dilakukan dengan menggunakan *visual inspection* untuk mengetahui dan membandingkan data operasi *auxiliary cooling water pump* pada dua kondisi yang berbeda yaitu saat terjadi vibrasi dan setelah perbaikan vibrasi.

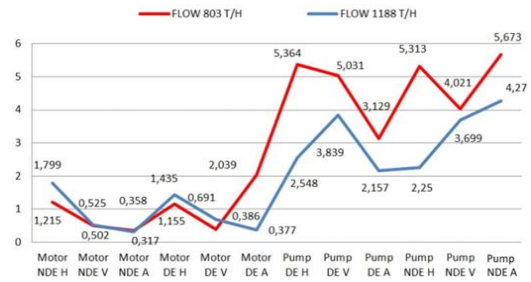
Tabel 2. Data Operasional Saat Terjadi Vibrasi

Tanggal	Flow Rate (T/h)	Pressure (Barg)
06/05/2024	803	4,52

Tabel 3. Data Operasional Setelah Perbaikan Vibrasi

Tanggal	Flow Rate (T/h)	Pressure (Barg)
16/07/2024	1188	3,78

Saat pompa mengalami vibrasi, data menunjukkan bahwa *flowrate* pada pompa adalah 803 T/h dengan tekanan 4,52 barg. Kondisi ini menggambarkan kinerja pompa yang terganggu akibat vibrasi, di mana laju aliran relatif rendah namun tekanan cukup tinggi. Setelah dilakukan perbaikan vibrasi, *flow rate* meningkat menjadi 1188 T/h yang berarti terjadi peningkatan dari kondisi sebelumnya. Sementara itu tekanan mengalami penurunan menjadi 3,78 barg.



Gambar 4. ACWP test (increase flow rate-trend plot)

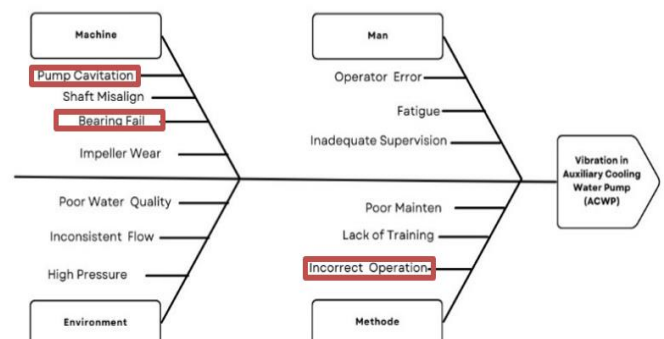
Data vibrasi yang ditampilkan dalam tabel dan grafik diatas membandingkan tingkat getaran pada berbagai komponen *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) sebelum dan sesudah perbaikan vibrasi. Data ini diambil pada saat terjadi vibrasi (06/05/2024) dan setelah perbaikan vibrasi (16/07/2024).

Saat terjadi vibrasi, beberapa titik pengukuran menunjukkan nilai vibrasi yang melebihi standar ISO 10816-3. Terutama pada bagian pompa, nilai vibrasi di *Pump DE H* (5,364 mm/s), *Pump DE V* (5,031 mm/s), *Pump NDE H* (5,313mm/s) dan *Pump NDE A* (5,673 mm/s) semua melebihi batas 4,5 mm/s RMS. Nilai-nilai ini mengindikasikan kondisi operasi yang tidak optimal dan berpotensi merusak, sesuai dengan standar ISO.

Setelah perbaikan (16/07/2024), terjadi penurunan signifikan pada nilai-nilai vibrasi. Semua titik pengukuran kini berada di bawah batas 4,5 mm/s RMS yang ditetapkan oleh ISO 10816-3. Penurunan terbesar terlihat pada *Pump DE H* yang turun dari 5,364 mm/s menjadi 2,548 mm/s, menunjukkan perbaikan dapat meningkatkan kinerja pompa.

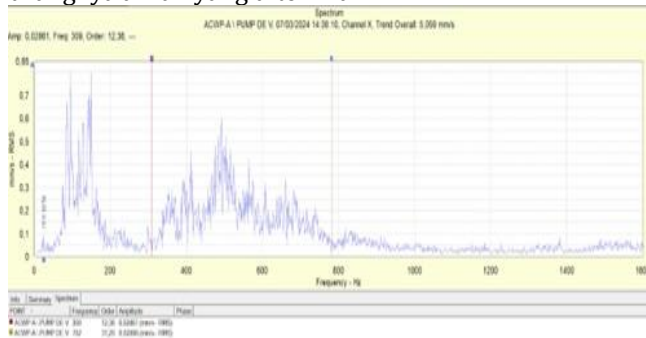
3.3. Troubleshooting

Sebagai alat untuk menganalisis dan mengidentifikasi penyebab utama terjadinya vibrasi pada *auxiliary cooling water pump* (ACWP). Vibrasi ini disebabkan oleh kavitasi, sebuah fenomena yang muncul akibat perubahan pola operasi yang diterapkan untuk mencapai efisiensi maksimal.

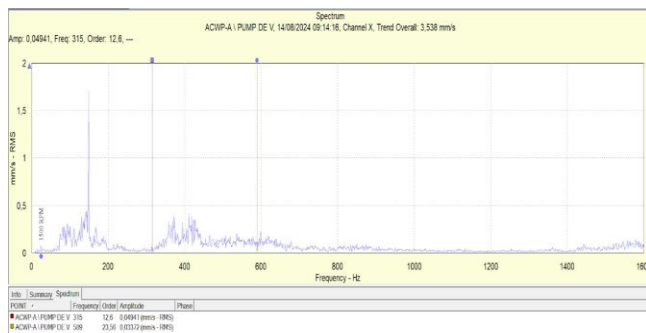


Gambar 5. Fishbone diagram identifikasi permasalahan

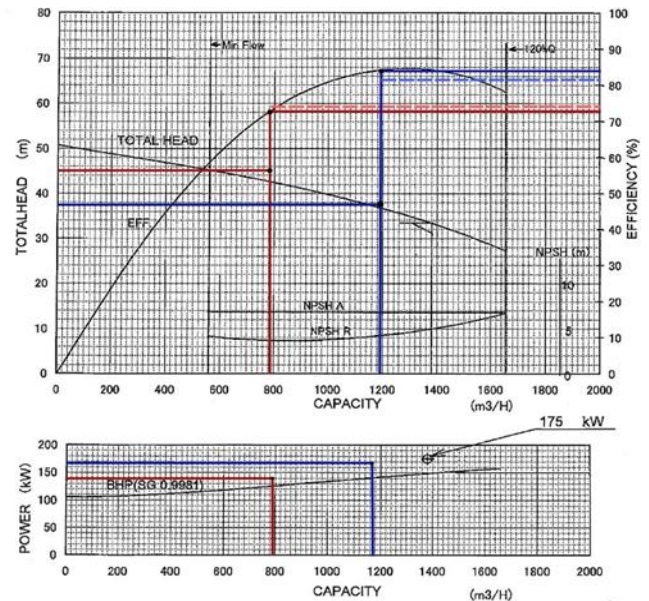
Perubahan pola operasi yang dimaksud melibatkan penyesuaian dalam skema pembukaan dan penutupan *ejector* menuju *inter condenser*. *Flow rate* yang awalnya sebesar 1200 ton/h menurun menjadi 900 ton/h , dan aliran menuju *condenser* berkurang dari 900 ton/h menjadi 600 ton/h. Penurunan ini secara signifikan mempengaruhi kinerja ACWP, menyebabkan terjadinya kavitasi akibat kurangnya aliran yang diterima.



Gambar 6. *Spectrum* saat terjadi vibrasi



Gambar 7. *spectrum* setelah perbaikan vibrasi



Gambar 8. Performance kurva ACWP

Grafik diatas menggambarkan perbandingan performa pompa sebelum dan sesudah perbaikan masalah vibrasi. Garis merah merepresentasikan kondisi pompa saat mengalami vibrasi, sementara garis biru menunjukkan keadaan setelah perbaikan dilakukan. Sumbu X menunjukkan kapasitas pompa dalam m³/h, berkisar dari 0 hingga 2000 m³/h. Sumbu Y kiri menunjukkan total head dalam meter, sementara sumbu Y kanan menunjukkan efisiensi dalam persentase. Perbaikan vibrasi menghasilkan peningkatan signifikan dalam karakteristik operasional pompa. Kapasitas pompa meningkat dari 803 m³/h menjadi 1188 m³/h, disertai dengan peningkatan efisiensi dari 72% ke 83%. Hal tersebut menunjukan bahwa semakin besar debit yang dihasilkan, maka efisiensi pompa pun akan semakin besar (Subagyo & Hendratno, 2021). Akan tetapi, terjadi penurunan total head dari 45.2 m ke 37.8 m yang menandakan head total pompa berbanding terbalik dengan kapasitas laju alir pompa.

3.4. Optimasi Pompa

a. Kinerja ACWP

Untuk mencari kinerja dari *Auxiliary Cooling Water Pump* terdapat data yang dibutuhkan untuk perhitungan sebagai berikut.

Tabel 4. Data Monitoring Saat Terjadi Vibrasi

V (V)	I (A)	Cosphi	Q (Ton/h)	Head(m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	η m(%)
398,8	227,9	0,90	803	45,20	998	9,8	94,6

Tabel 5. Data Monitoring Setelah Perbaikan

V (V)	I (A)	Cosphi	Q (Ton/h)	Head(m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	η m(%)
398,8	256	0,90	1188	37,80	998	9,8	94,6

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Saat Terjadi Vibrasi

Ph (kW)	Pin (kW)	η p (%)	Pp (kW)	Pm (kW)
98,61	141,68	73,57	134,03	141,68

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Setelah Perbaikan

Ph (kW)	Pin (kW)	η p (%)	Pp (kW)	Pm (kW)
122,13	159,15	81,12	150,55	159,15

Data saat terjadi vibrasi :

$$Pin = \frac{\sqrt{3} \times 398,8 \times 227,9 \times 0,90}{1000} = 141,68 \text{ Kw}$$

$$Ph = \frac{(803 + 3600) \times 45,2 \times 998 \times 9,8}{1000} = 98,61 \text{ Kw}$$

$$\eta p = \frac{98,61}{0,945 \times 141,68} = 73,57\%$$

$$Pp = \frac{98,61}{0,7357} = 134,03 \text{ kw}$$

$$Pm = \frac{134,03}{0,946} = 141,68 \text{ kw}$$

Data setelah perbaikan vibrasi :

$$Pin = \frac{\sqrt{3} \times 398,8 \times 256 \times 0,90}{1000} = 159,15 \text{ Kw}$$

$$Ph = \frac{(1188 + 3600) \times 37,80 \times 998 \times 9,8}{1000} = 122,13 \text{ kW}$$

$$\eta p = \frac{122}{0,945 \times 159,15} = 81,12\%$$

$$Pp = \frac{122,00}{0,8112} = 150,55 \text{ kW}$$

$$Pm = \frac{150,55}{0,946} = 159,15 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel diatas menunjukkan kenaikan nilai daya hidrolik, daya *input*, daya motor, daya poros dan efisiensi pompa setelah melakukan perbaikan pada masalah vibrasi. Daya hidrolik dipengaruhi oleh laju aliran, *head* total dan massa jenis aliran. Pada saat vibrasi laju aliran pada ACWP memiliki nilai 803 Ton/h sedangkan setelah perbaikan vibrasi laju alirannya sebesar 1188 Ton/h. Laju aliran yang kecil pada saat terjadi vibrasi dapat menyebabkan ketidakseimbangan komponen berputar seperti *impeller* dan poros, ketidakseimbangan ini mengakibatkan gaya sentrifugal yang tidak merata sehingga mengganggu aliran fluida yang melalui pompa, yang berarti volume fluida yang dapat dipindahkan per putaran menjadi lebih kecil.

Head total pada saat vibrasi sebesar 45,2 m dan setelah perbaikan vibrasi adalah 37,8 m. Tinggi *head* total pada saat vibrasi menyebabkan ketidakseimbangan gaya pada komponen pompa seperti *impeller*, yang dapat mempengaruhi tekanan di dalam pompa. Ketika *impeller* bergetar, gaya sentrifugal yang tidak seimbang dapat menciptakan daerah dengan tekanan lebih tinggi di sekitar *impeller* atau di dalam *casing* pompa. Tekanan yang lebih tinggi ini berkontribusi langsung pada peningkatan *head* total. Vibrasi juga mengganggu aliran fluida yang seharusnya stabil (*laminar*), mengubahnya menjadi aliran yang lebih kacau (*turbulen*). Dalam kondisi *turbulen*, energi kinetik fluida meningkat, yang pada akhirnya meningkatkan tekanan dalam sistem. Daya motor pada saat vibrasi memiliki nilai 141,68 kW sedangkan sesudah perbaikan vibrasi 159,15 kW.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap tingginya vibrasi pada *Auxiliary Cooling Water Pump* (ACWP) dengan tipe pompa *axial split single stage* didapatkan informasi bahwasanya terjadi kavitasi yang berdampak pada ACWP dapat mengakibatkan tingginya vibrasi dan *bearing defect* serta keausan *impeller* dan komponen lain pada pompa tersebut apabila tidak dilakukan upaya pencegahan setelah gejala tersebut terdeteksi. Untuk meminimalisir kavitasi bisa dilakukan dengan cara meningkatkan aliran masuk atau gunakan pompa yang sesuai dengan kondisi aliran rendah. Sehingga, nilai efisiensi akan meningkat seperti perhitungan pada penelitian ini. Efisiensi terjadi pada saat vibrasi menurun sebesar 73,57% dengan *head* pompa 45,2 m dan nilai efisiensi mengalami kenaikan menjadi 81,12% dengan *head* 37,8 m setelah dilakukan perbaikan vibrasi.

5. Referensi

- Delly, J. (2009). Pengaruh temperatur terhadap terjadinya kavitasi pada sudu pompa sentrifugal. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1), 21–28.
- Dencio, M. S., & Firdausi, M. (2021). *Evaluasi Pemanfaatan Energi di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha Tahun 2021*. ISBN: 978-623-93137-7-7. http://repository.istn.ac.id/2624/1/B_Evaluasi%20Pemanfaatan%20Energi%20GDE%20Patuha%202021%20-%20ISBN.pdf
- Harindah, G. (2024). Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran Menggunakan Standar Iso 10816 Pada Mesin Diesel di PLTD Tobelo. *Jurnal Sosial Teknologi*, 4(7), 501–515.
- ISO. (2009). *Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. www.iso.org
- 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.
- Riddell, R. (2022). *Practical root cause failure analysis: Key elements, case studies, and common equipment failures*. CRC Press.
- Subagyo, R., & Hendratno, B. R. (2021). Analisa Performance Pompa Sentrifugal Di Unit 2 PT. Pupuk Kalimantan Timur. *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, 8(1), 30–38.
- Taufik, M., & Kusmadi, K. (2023). Control Dan Monitoring System Ph Otomatis Untuk Meningkatkan Kualitas Sistem Air Pendingin Ccw (Close Cooling Water) Di Pge Area Karaha. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 9(1), 24–37.
- Teng, W., Ding, X., Tang, S., Xu, J., Shi, B., & Liu, Y. (2021). Vibration analysis for fault detection of wind turbine drivetrains—a comprehensive investigation. *Sensors*, 21(5), 1686.
- Thoma, D. (1926). *Die Kavitation bei Wasser-Turbinen. Hydraulische Probleme VD I*, Verlag.