

# Analisis Gangguan Rotor Pada Motor Filter Open Circulating Cooling Water (OCCW) Di Sistem Pendingin PLTU Pangkalan Susu Unit 1 Dan 2

Rudi Maulana<sup>1</sup>, Rahmaniar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro, Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

<sup>2</sup>Jurusan, Fakultas, Institusi

<sup>1</sup>Rudimaaulana286@gmail.com\*, <sup>2</sup>rahmaniar@dosen.pancabudi.ac.id

## ABSTRACT

The Open Circulating Cooling Water (OCCW) filter motor is a critical component in the power plant cooling system that functions to filter seawater before it is used to cool equipment such as the Heat Exchanger Close Circulating Cooling Water System, Hydrogen Generator Cooler, and Turbine Lubricating Oil Cooler. This study aims to analyze the rotor disturbance in the OCCW filter motor and develop solutions to improve the reliability of the cooling system. The analysis was conducted using predictive maintenance methods with vibration analysis techniques based on ISO 10816-3 standards, interviews with operators, direct observations, and operational documentation at the Pangkalan Susu Power Plant Unit 1 and 2. Vibration measurements showed abnormal values at bearing 1H (8.4 mm/s) and bearing 2H (7.5 mm/s), exceeding the ISO 10816-3 standard limit ( $\leq 7.1$  mm/s) and falling into the "danger" category. Spectrum analysis identified damage to the rotor bearing with a dominance of Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO) at 2.2 x order. Replacing the bushing with an SKF 6306-Z/C3 bearing successfully reduced the vibration values to the normal range (0.56-1.01 mm/s). The implementation of bearings as a replacement for the bushing proved effective in addressing the OCCW filter motor rotor disturbance, preventing unit derating of 80 MW, and saving financial losses of up to IDR 865,280,000 per occurrence with an investment cost of only IDR 7,970,000.

**Keywords:** OCCW filter motor, vibration analysis, bearing failure, power plant, predictive maintenance

## ABSTRAK

Motor filter Open Circulating Cooling Water (OCCW) merupakan komponen kritis dalam sistem pendingin PLTU yang berfungsi menyaring air laut sebelum digunakan untuk mendinginkan peralatan seperti Heat Exchanger Close Circulating Cooling Water System, Generator Hidrogen Cooler, dan Turbin Lubricating Oil Cooler. Tujuan: Penelitian ini bertujuan menganalisis gangguan rotor motor filter OCCW dan mengembangkan solusi untuk meningkatkan keandalan sistem pendingin. Metode: Analisis dilakukan menggunakan metode predictive maintenance dengan teknik vibration analysis berdasarkan standar ISO 10816-3, wawancara dengan operator, observasi langsung, dan dokumentasi operasional di PLTU Pangkalan Susu Unit 1 dan 2. Hasil: Hasil pengukuran vibrasi menunjukkan nilai abnormal pada bearing 1H (8,4 mm/s) dan bearing 2H (7,5 mm/s), melampaui batas standar ISO 10816-3 ( $\leq 7,1$  mm/s) dan masuk kategori "danger". Analisis spektrum mengidentifikasi kerusakan pada bantalan rotor dengan dominasi Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO) pada 2,2 x order. Penggantian bushing dengan bearing SKF 6306-Z/C3 berhasil menurunkan nilai vibrasi ke rentang normal (0,56-1,01 mm/s). Kesimpulan: Implementasi bearing sebagai pengganti bushing terbukti efektif mengatasi gangguan rotor motor filter OCCW, mencegah derating unit sebesar 80 MW, dan menghemat kerugian finansial hingga Rp 865.280.000 per kejadian dengan biaya investasi hanya Rp 7.970.000.

**Kata kunci:** motor filter OCCW, analisis vibrasi, bearing failure, PLTU, predictive maintenance

## 1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang paling banyak digunakan karena efisiensinya yang tinggi dalam mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik [1]. PLTU Pangkalan Susu Unit 1 dan 2 yang berlokasi di Tanjung Pasir, Pangkalan Susu, Langkat, Sumatera Utara, memiliki kapasitas total 840 MW



dan berperan sebagai tulang punggung sistem kelistrikan Sumatera Utara dengan kontribusi mencapai 29,26% dari kebutuhan listrik di wilayah tersebut [2]. Sistem pendingin air sirkulasi terbuka (Open Circulating Cooling Water/OCCW) merupakan komponen vital dalam operasi PLTU yang berfungsi untuk membuang panas berlebih dari berbagai peralatan kritis seperti kondensor, pendingin bearing, pendingin minyak pelumas, dan sistem auxiliary lainnya [3]. Sistem OCCW pada PLTU umumnya menggunakan air laut atau air sungai sebagai medium pendingin yang disirkulasikan melalui jaringan perpipaan dan heat exchanger untuk memindahkan panas dari fluida bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah [4].

Motor listrik yang menggerakkan pompa filter dalam sistem OCCW merupakan salah satu komponen yang rentan mengalami gangguan operasional. Motor induksi tiga fasa yang umumnya digunakan dalam aplikasi industri ini menghadapi berbagai jenis stress elektrik, termal, mekanik, dan lingkungan yang dapat menyebabkan kegagalan pada komponen rotor [5]. Gangguan pada rotor motor dapat berupa keretakan atau putusnya batang rotor (broken rotor bar), kerusakan pada shorting ring, dan ketidakseimbangan magnetik yang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi, getaran berlebih, dan pada akhirnya kegagalan motor secara keseluruhan [6].

Studi yang dilakukan oleh IEEE dan EPRI menunjukkan bahwa sekitar 10% dari kegagalan motor industri disebabkan oleh gangguan pada rotor [7]. Meskipun persentase ini relatif kecil dibandingkan dengan kegagalan bearing (40-50%) dan gangguan stator (30-40%), dampak dari kegagalan rotor dapat sangat merugikan karena dapat menyebabkan kerusakan katastropik yang memerlukan penggantian motor secara keseluruhan [8]. Khususnya pada motor berkapasitas besar seperti yang digunakan dalam sistem OCCW PLTU, gangguan rotor dapat menyebabkan peningkatan temperatur yang signifikan, kerusakan pada inti rotor, dan bahkan dapat menyebabkan batang rotor terlepas dari slot dan menabrak belitan stator [9].

Berdasarkan data operasional PLTU Pangkalan Susu, kegagalan motor filter OCCW menyebabkan beberapa permasalahan kritis: (1) Ketidakmampuan motor menggerakkan rotary strainer akibat keausan bushing, (2) Operasi bypass manual yang mengakibatkan kontaminan lolos ke heat exchanger, (3) Penyumbatan pada Generator Hidrogen Cooler yang memerlukan cleaning 8 jam, (3) Derating unit hingga 80 MW akibat kenaikan temperatur generator, (4) Kerugian finansial mencapai Rp 865.280.000 per kejadian. Batasan Masalah: Penelitian ini membatasi ruang lingkup sebagai berikut: (1) Analisis difokuskan pada gangguan rotor motor filter sistem OCCW, (2) Studi kasus dilakukan khusus di PLTU Pangkalan Susu Unit 1 dan 2. Evaluasi terbatas pada solusi penggantian bushing dengan bearing. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki permasalahan rotor motor filter OCCW melalui: (1) Analisis karakteristik gangguan rotor menggunakan vibration analysis. (2) Identifikasi root cause failure dan faktor-faktor penyebab kerusakan. (3) Evaluasi efektivitas solusi penggantian bushing dengan bearing. (4) Kuantifikasi manfaat finansial dan operasional dari implementasi solusi.

## 2. Tinjauan Pustaka

Sistem pendingin merupakan jantung operasional dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berperan vital dalam membuang panas berlebih dari proses pembangkitan listrik. Pentingnya sistem ini tercermin dari kenyataan bahwa pembangkit listrik termoelektrik secara tradisional membutuhkan volume air yang sangat besar untuk mengondensasi uap dari exhaust turbin [9]. Tanpa sistem pendingin yang efektif, proses konversi energi dalam PLTU tidak dapat berjalan optimal.

Di Amerika Serikat, sekitar 90 persen listrik dihasilkan oleh pembangkit termoelektrik konvensional yang mencakup pembangkit batu bara, nuklir, gas alam, dan minyak, dimana semuanya memerlukan sistem pendingin [10]. Hal ini menunjukkan betapa fundamentalnya peran sistem pendingin dalam industri pembangkitan listrik global. Sistem pendingin air sirkulasi pada PLTU dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama berdasarkan metode operasinya. Pertama adalah sistem once-through cooling yang mengambil air langsung dari



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

sumber alami seperti laut atau sungai, mensirkulasikannya melalui kondensor untuk menyerap panas, kemudian mengembalikannya ke sumber dengan temperatur yang lebih tinggi. Kedua adalah sistem wet-recirculating atau closed-loop yang menggunakan kembali air pendingin dalam siklus kedua menggunakan cooling tower. Ketiga adalah sistem dry-cooling yang menggunakan udara sebagai pengganti air untuk mendinginkan uap [11].

Sistem Open Circulating Cooling Water (OCCW) yang menjadi fokus penelitian ini termasuk dalam kategori once-through cooling. Sistem ini memiliki keunggulan dalam kesederhanaan operasi dan biaya awal yang relatif rendah, namun memerlukan ketersediaan sumber air yang melimpah. Dalam konteks PLTU Pangkalan Susu, sistem OCCW menggunakan air laut sebagai medium pendingin untuk berbagai peralatan kritis seperti Heat Exchanger Close Circulating Cooling Water System, Generator Hidrogen Cooler, dan Turbin Lubricating Oil Cooler.

Kegagalan pada sistem pendingin dapat berakibat fatal terhadap operasi pembangkit secara keseluruhan. Ketika terjadi gangguan pada komponen sistem pendingin, seluruh bagian pembangkit mungkin harus dimatikan selama proses perbaikan berlangsung [12]. Hal ini menekankan pentingnya menjaga keandalan setiap komponen dalam sistem pendingin, termasuk motor filter yang menggerakkan rotary strainer.

Motor listrik berfungsi sebagai penggerak utama berbagai peralatan auxiliary dalam PLTU. Dalam industri pembangkitan listrik, sistem kontrol motor digunakan dalam proses-proses kritis di seluruh fasilitas pabrik [13]. Kegagalan motor dapat mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan, tidak hanya dari aspek penggantian komponen atau suku cadang, tetapi juga dari downtime sistem yang digerakkan oleh motor tersebut.

Berdasarkan data statistik industri yang komprehensif, kerusakan isolasi belitan dan keausan bearing merupakan dua penyebab utama kegagalan motor, meskipun kondisi-kondisi tersebut muncul dari berbagai faktor penyebab yang berbeda [14]. Penelitian yang dilakukan oleh American Society of Mechanical Engineers (ASME) menunjukkan bahwa kegagalan bearing bertanggung jawab terhadap sekitar 40% dari seluruh kerusakan mesin, menjadikan analisis bearing sebagai fokus utama dalam strategi predictive maintenance.

Dalam konteks khusus motor filter OCCW, karakteristik operasional yang unik menimbulkan tantangan tersendiri. Motor ini menggunakan teknologi induksi AC 3 fasa yang dikopel dengan gearbox untuk menggerakkan rotary strainer. Komponen sistem pendingin yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan overheating motor, yang pada gilirannya dapat merusak motor dan menyebabkan seluruh pembangkit harus dimatikan [15]. Kondisi ini menjadikan monitoring kondisi motor filter OCCW sebagai prioritas utama dalam strategi maintenance.

Tantangan khusus yang dihadapi motor filter OCCW adalah lingkungan operasi yang harsh dengan exposure terhadap air laut yang bersifat korosif. Selain itu, beban kerja yang bervariasi akibat fluktuasi kontaminan dalam air laut menambah kompleksitas operasional motor ini. Analisis Vibrasi dan Standar ISO 10816-3 telah terbukti sebagai salah satu teknik condition monitoring yang paling efektif dan reliable untuk mendeteksi gangguan pada rotating equipment. Metode ini memungkinkan deteksi dini berbagai jenis kerusakan sebelum berkembang menjadi kegagalan katastrofik yang dapat menyebabkan downtime yang tidak direncanakan.

Standar ISO 10816-1 merupakan dokumen dasar yang menetapkan pedoman umum untuk pengukuran dan evaluasi vibrasi mekanik mesin, sebagaimana diukur pada bagian yang tidak berputar [8]. Standar ini berkembang menjadi serangkaian standar yang lebih spesifik, salah satunya adalah ISO 10816-3 yang khusus berlaku untuk machine set dengan daya di atas 15 kW dan kecepatan operasi antara 120 hingga 15.000 RPM.

ISO 10816-3 secara khusus mencakup motor industri, pompa, generator, kompresor rotary, blower dan fan, serta berbagai jenis turbin [16]. Standar ini sangat relevan untuk motor



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

filter OCCW yang memiliki spesifikasi daya 0,55 kW dan kecepatan operasi 1390 RPM, meskipun daya motor tersebut berada di bawah threshold standar, prinsip-prinsip evaluasinya tetap dapat diterapkan. Klasifikasi mesin dalam ISO 10816-3 dibagi menjadi dua kelompok utama. Kelompok 1 mencakup motor listrik dan mesin yang digerakkan dengan daya di atas 402 HP, sedangkan Kelompok 2 mencakup motor listrik dan mesin yang digerakkan dengan daya antara 20-402 HP. Mesin Kelompok 1 dapat mentolerir level vibrasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan Kelompok 2 karena memiliki massa yang lebih besar dan stance yang lebih lebar, sehingga secara umum dapat menahan level vibrasi overall yang lebih tinggi [17].

Standar ISO 10816-3 menetapkan empat kategori level vibrasi berdasarkan severity level yang masing-masing memiliki implikasi operasional yang berbeda:

Level A (< 1,4 mm/s) menunjukkan kondisi normal operation dimana mesin beroperasi dalam kondisi optimal tanpa masalah yang signifikan. Pada level ini, mesin dapat beroperasi tanpa pembatasan waktu dan tidak memerlukan tindakan korektif khusus.

Level B (1,4-2,8 mm/s) mengindikasikan unrestricted operation dimana mesin masih dapat beroperasi secara normal, meskipun sudah menunjukkan tanda-tanda keausan yang wajar setelah periode operasi tertentu. Level ini masih dianggap acceptable untuk operasi jangka panjang.

Level C (2,8-4,5 mm/s) merupakan kategori warning yang memerlukan perhatian khusus. Mesin pada level ini masih dapat beroperasi dalam jangka pendek, namun memerlukan investigasi lebih lanjut dan perencanaan maintenance untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Level D (> 4,5 mm/s) adalah kategori danger yang memerlukan immediate action. Level vibrasi pada motor atau pompa di atas 0,25 in/sec (pk) atau 4,5 mm/sec (rms) dapat menyebabkan kerusakan tambahan pada komponen mesin seperti bearing, sehingga mesin harus dikeluarkan dari service sesegera mungkin dan dilakukan tindakan korektif untuk mengurangi vibrasi [18].

Teknik untuk menentukan kerusakan bearing didasarkan pada deteksi impact atau pulsa yang kuat yang terjadi selama rotasi shaft. Metode deteksi dapat dibagi menjadi dua kelompok utama: pengukuran vibrasi overall dan analisis spektral [19]. Parameter-parameter kunci dalam analisis bearing meliputi beberapa aspek penting. Overall RMS velocity value menggunakan standar ISO 10816 sebagai acuan dasar. Crest factor merupakan rasio antara peak value dan RMS value yang memberikan indikasi tentang karakteristik impulsive dari sinyal vibrasi. Kurtosis adalah parameter statistik yang dihitung dari time waveform yang memberikan informasi tentang jumlah peaks yang ada dalam waveform. Sementara itu, bearing characteristic frequencies mencakup Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI), Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO), Fundamental Train Frequency (FTF), dan Ball Spin Frequency (BSF). Analisis spektral dan time waveform sangat menentukan dalam mendiagnosis kerusakan rolling element bearing, memungkinkan prediksi tingkat deteriorasi di masa depan dan perencanaan penggantian bearing dengan baik di muka [13]. Teknik ini memungkinkan maintenance engineer untuk mengambil keputusan proaktif berdasarkan data objektif.

Root Cause Failure Analysis (RCFA) merupakan proses yang terdokumentasi dengan baik untuk memeriksa motor yang gagal beserta sistemnya. Metodologi RCFA dimulai dari komponen yang mengalami kegagalan, kemudian mengikuti proses tahap demi tahap untuk memahami stress atau tekanan yang menyebabkan kegagalan komponen tersebut [14]. Ketika diterapkan dengan benar, berbagai pendekatan RCFA semuanya mencapai tujuan yang sama yaitu menemukan alasan kegagalan. Namun, diferensiator utama terletak pada proses atau program yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut [15]. Dalam memilih program RCFA, kebanyakan orang cenderung memilih yang paling mudah dipahami dan digunakan.

Untuk menyelesaikan kegagalan yang sering terjadi, operator harus melihat melampaui komponen yang gagal. Kegagalan komponen yang rumit mungkin merupakan gejala dari masalah yang terkait dengan sistem [16]. Pendekatan ini memerlukan kolaborasi antara personel electrical, mechanical, operations, maintenance, dan instrumentation & control



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

sebagai sebuah tim yang solid. Dalam konteks aplikasi cooling water pump, masalah motor yang umum terjadi meliputi bearing bagian bawah yang aus atau rotor yang bersentuhan dengan stator. Data maintenance menunjukkan bahwa semua pompa mulai mengalami bearing yang aus selama beberapa tahun terakhir ketika pembangkit mulai melakukan swing load operation [17].

Analisis sistemik mengungkapkan bahwa akar penyebab masalah meliputi alignment, instalasi pompa, degradasi struktur intake dan support, Net Positive Suction Head (NPSH), dan spesifikasi reparasi motor. Keandalan dalam aplikasi pompa vertikal dimulai dari instalasi yang proper, yang untuk aplikasi circulating water pump akan mencakup struktur intake, sole plate, motor stand, dan suction discharge piping.

Terdapat perbedaan yang signifikan antara reactive maintenance dan preventive maintenance (PM). Ketika sebuah pembangkit mengadopsi mindset preventive maintenance, engineer dan teknisi didukung untuk memonitor motor dan melakukan troubleshooting masalah sebelum menyebabkan kegagalan. PM terbukti dapat mengurangi downtime hingga 50% [18]. Preventive maintenance melampaui item checklist standar seperti pembersihan yang proper dan greasing, meskipun aktivitas-aktivitas tersebut tetap penting. PM yang efektif mencakup monitoring kondisi yang berkelanjutan, analisis trend, dan pengambilan keputusan berdasarkan data objektif.

Perkembangan teknologi telah membawa teknik monitoring motor ke level yang baru. Pendekatan deep learning untuk diagnosis kegagalan motor listrik menggunakan modified InceptionV3 menunjukkan akurasi hingga 98,82% dalam menggunakan thermal imaging [19]. Namun, untuk aplikasi praktis di lapangan, analisis vibrasi tetap menjadi metode yang paling cost-effective dan reliable. Dengan menerapkan analisis vibrasi bearing sebagai tool maintenance proaktif, pengguna dapat mengurangi risiko dan mengoptimalkan efisiensi operasional [20]. Teknologi monitoring modern lainnya mencakup acoustic emission techniques yang mendeteksi high-frequency sounds yang dihasilkan oleh bearing, thermographic analysis menggunakan kamera infrared untuk mendeteksi pola panas, dan lubricant analysis yang memeriksa lubrikant untuk kontaminasi atau wear particles.

Pemilihan bearing yang tepat sangat kritis dalam aplikasi motor filter OCCW yang beroperasi dalam lingkungan air laut yang korosif. Sistem pendingin air laut dapat mencapai keandalan, efisiensi, dan viabilitas ekonomi yang tinggi melalui adopsi material modern, teknologi baru, dan maintenance operasional yang tepat [12].

Permasalahan utama dalam sistem seawater cooling adalah korosi dan fouling. Air laut bersifat korosif, dan kondisi dimana sistem-sistem ini bekerja sangat kompleks, oleh karena itu maintenance merupakan aktivitas yang menantang namun sangat diperlukan [13]. Hal ini mempengaruhi pemilihan material bearing dan sistem lubrikasi yang tepat untuk aplikasi khusus ini. Dalam konteks motor filter OCCW, penggunaan bushing sebagai bantalan tradisional menimbulkan masalah keausan yang cepat akibat gesekan langsung dengan shaft. Evolusi teknologi bearing modern menawarkan solusi yang lebih reliable dengan lifetime yang lebih panjang dan maintenance requirement yang lebih rendah.

Aspek ekonomi dalam strategi maintenance menjadi pertimbangan penting dalam pengambilan keputusan. Kerugian akibat downtime pembangkit tidak hanya mencakup biaya perbaikan langsung, tetapi juga opportunity cost dari kehilangan produksi listrik, biaya fuel untuk startup, dan dampak terhadap kontrak penjualan listrik. PLTU dengan kapasitas besar, setiap jam downtime dapat mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan. Oleh karena itu, investasi dalam predictive maintenance dan upgrade komponen kritis seperti bearing system dapat memberikan Return on Investment (ROI) yang sangat menarik dalam jangka menengah dan panjang.

### **3. Bahan & Metode**



Lisensi

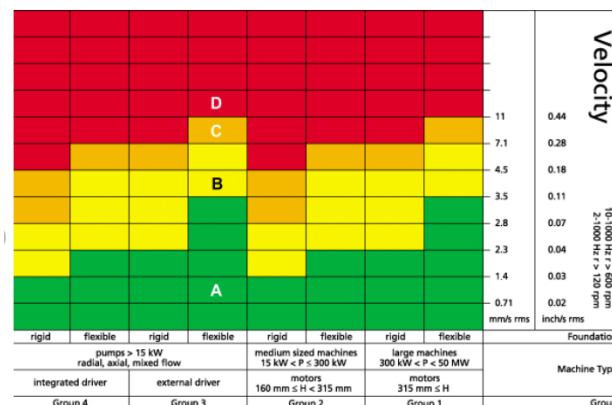
Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan metode studi kasus untuk menganalisis gangguan rotor motor filter OCCW. Pendekatan mixed-method diterapkan dengan mengkombinasikan data kuantitatif dari pengukuran vibrasi dan data kualitatif dari observasi lapangan.

Teknik Pengumpulan Data:

- Wawancara Terstruktur: Dilakukan dengan operator dan teknisi maintenance untuk memperoleh informasi mengenai histori kegagalan, prosedur operasi, dan tantangan maintenance.
- Observasi Langsung: Pengamatan kondisi fisik motor filter OCCW, analisis pola keausan bushing, dan dokumentasi kondisi operasional sistem.
- Pengukuran Vibrasi: Menggunakan vibration analyzer untuk mengukur overall vibration level dan frequency spectrum analysis sesuai standar ISO 10816-3.
- Studi Dokumentasi: Analisis data historis maintenance, spesifikasi teknis, dan laporan operasional dari sistem MAXIMO dan ERP.

Pengukuran vibrasi mengacu pada standar ISO 10816-3 untuk mesin kategori Group 2 dengan batasan nilai:



Gambar 1 ISO 10816-3 Standart Vibrasi Mesin

Level A: <1,4 mm/s (Normal)

Level B: 1,4-2,8 mm/s (Acceptable)

Level C: 2,8-4,5 mm/s (Warning)

Level D: >4,5 mm/s (Danger)

Analisis spektrum vibrasi dilakukan untuk mengidentifikasi frekuensi karakteristik bearing failure menggunakan persamaan:

Ball Pass Frequency Outer Race (BPFO):

$$BPFO = (Nb/2) \times F \times (1 - (Bd/Pd) \times \cos \theta)$$

Ball Pass Frequency Inner Race (BPFI):

$$BPFI = (Nb/2) \times F \times (1 + (Bd/Pd) \times \cos \theta)$$

Dimana:

Nb = jumlah bola, F = frekuensi rotasi, Bd = diameter bola, Pd = pitch diameter,  $\theta$  = contact angle.

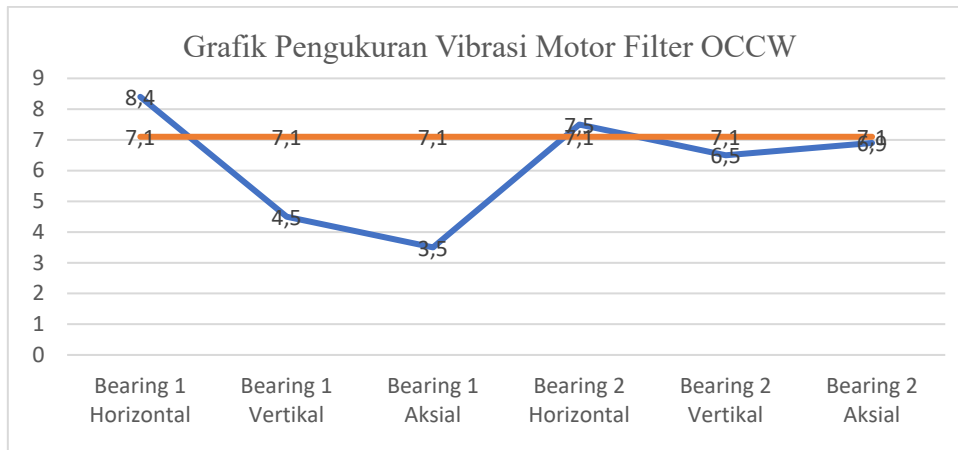
#### 4. Hasil

##### Karakteristik Gangguan Rotor Motor Filter OCCW

Hasil pengukuran vibrasi pada motor filter OCCW menunjukkan nilai yang sangat mengkhawatirkan, sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Nilai Overall Vibrasi Motor Filter OCCW Sebelum Perbaikan

Titik Pengukuran	Hasil (mm/s)	Katagori	Status
Bearing 1 Horizontal	8,4	Level D	Danger
Bearing 1 Vertical	4,5	Level C	Warning
Bearing 1 Aksial	3,5	Level B	Acceptable
Bearing 2 Horizontal	7,5	Level D	Danger
Bearing 2 Vertical	6,5	Level C	Warning
Bearing 2 Aksial	6,9	Level C	Warning



Gambar 2. Pengukuran Vibrasi Motor Filter OCCW

Nilai vibrasi pada bearing 1H (8,4 mm/s) dan bearing 2H (7,5 mm/s) melampaui batas standar ISO 10816-3 ( $\leq 7,1$  mm/s) dan masuk kategori "danger", mengindikasikan kerusakan serius yang memerlukan perbaikan segera.

#### Analisis Spektrum Vibrasi

Analisis spektrum vibrasi menghasilkan data karakteristik:

Overall vibration	8,44 mm/s
Dominant frequency	54,69 Hz
RPM operasi	1485
Order	2,2X

Analisa spectrum pada bearing motor filter OCCW adalah dominan harmonic, dimana terdapat kerusakan pada bantalan motor filter OCCW. Untuk mengidentifikasi jenis kerusakan pada bantalan bearing dapat dihitung dengan pendekatan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- 1) BPF (ball pass frequency inner race)

$$\begin{aligned}
 \text{BPF} &= \left(\frac{Nb}{2}\right) X F X \left(1 + \frac{Bd}{Pd} x \text{Cos } \theta\right) \\
 &= \left(\frac{8}{2}\right) X 24,75 X \left(1 + \frac{19}{44,6} x \text{Cos } \theta\right) \\
 &= 141,17 \text{ Hz atau } (5,7 \times \text{order})
 \end{aligned}$$



2) BPFO (ball pass frequency outer race)

$$\begin{aligned} \text{BPFO} &= \left(\frac{Nb}{2}\right) X F X \left(1 - \frac{Bd}{Pd} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= \left(\frac{8}{2}\right) X 24,75 X \left(1 - \frac{19}{44,6} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= 56,82 \text{ Hz atau } (2,2 \times \text{order}) \end{aligned}$$

3) FTF (Fundamental train frequency)

$$\begin{aligned} \text{FTF} &= \left(\frac{F}{2}\right) X \left(1 - \frac{Bd}{Pd} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= \left(\frac{24,75}{2}\right) X \left(1 - \frac{19}{44,6} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= 7,10 \text{ Hz atau } (0,28 \times \text{order}) \end{aligned}$$

4) BSF (ball spin frequency)

$$\begin{aligned} \text{BSF} &= \left(\frac{Pd}{2Bd}\right) X F X \left(1 - \frac{Bd}{Pd} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= \left(\frac{44,6}{2 \times 19}\right) X 24,75 X \left(1 - \frac{19}{44,6} x \text{Cos } \theta\right) \\ &= 16,67 \text{ Hz atau } (0,67 \times \text{order}) \end{aligned}$$

Tabel 2. Perhitungan frekuensi karakteristik bearing SKF 6306-Z/C3:

BPFI	141,17 Hz (5,7 × order)
BPFO	56,82 Hz (2,2 × order)
FTF	7,10 Hz (0,28 × order)
BSF	16,67 Hz (0,67 × order)

← **Dominan**

Sesuai dengan spesifikasi bearing SKF 6306 dan hasil perhitungan frekuensi elemen bearing didapat data sebagai berikut :

- 1) BPFI berada di frekuensi 5,71 Hz
- 2) BPFO berada di frekuensi 2,2 Hz
- 3) FTF berada di frekuensi 0,28 Hz
- 4) BSF berada di frekuensi 0,67 Hz

Dominasi frekuensi BPFO pada 2,2 × order sesuai dengan hasil spektrum mengkonfirmasi kerusakan pada outer race bearing, yang disebabkan oleh keausan bushing yang menyebabkan misalignment dan pembebanan tidak merata.

Solusi yang diterapkan adalah penggantian bushing dengan bearing SKF 6306-Z/C3 dengan spesifikasi:

Tabel 3. Spesifikasi Bearing SKF 6306-Z/C3

NO	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Outer diameter	72 mm
2	Inner diameter	30 mm
3	Pitch diameter (Pd)	44,6 mm
4	Ball diameter (Bd)	19 mm
5	Number of ball (Nb)	8 pcs
6	Contact angle (θ)	0 degree
7	Speed	1485 rpm
8	Frekuensi (F)	24,75 Hz



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.



Evaluasi Hasil Perbaikan setelah implementasi bearing, pengukuran vibrasi menunjukkan perbaikan signifikan sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.

Tabel4. Nilai overall vibrasi pada motor filter OCCW setelah perbaikan

Titik Pengukuran Bearing	Hasil Pengukuran	Satuan	Ket
Bearing 1 Horizontal	0,92	mm/s	Normal
Bearing 1 Vertical	1,01	mm/s	Normal
Bearing 1 Axial	0,65	mm/s	Normal
Bearing 2 Horizontal	0,99	mm/s	Normal
Bearing 2 Vertical	0,98	sm/s	Normal
Bearing 2 Axial	0,56	mm/s	Normal

Semua nilai vibrasi berhasil diturunkan ke rentang normal (Level A), menunjukkan keberhasilan solusi yang diterapkan.

### Analisis Manfaat Finansial

Setelah dilakukan analisis Gangguan Rotor Pada Motor filter Open Circulating Cooling Water (OCCW) Di Sistem Pendingin PLTU Pangkalan Susu Unit 1 Dan 2. Didapatkan adanya manfaat finansial setelah dilakukan penggantian bantalan shaft motor filter OCCW yang menggunakan bushing diganti menjadi bearing. Berikut rencana anggaran biaya penggantian material bushing menjadi bearing :

Tabel 5. RAB penggantian bearing SKF 6306-Z/C3

RAB Penggantian Bushing Ke Bearing SKF 6306-Z/C3						
No	Material	Man Power	Qty	Satuan	Jumlah	Total
1	Bearing SKF 6306-Z/C3		2	Pcs	Rp. 655.000	Rp 1.310.000
2	Man Power	5	7	Hari	Rp. 120.000	Rp 4.200.000
3	Pabrikasi dan Pemasangan		1	Lot	Rp. 2.460.000	Rp 2.460.000
	Total					<b>Rp 7.970.000</b>

**Penghematan dari Pencegahan Derating:** Ketika motor filter OCCW gagal, unit mengalami derating 80 MW selama 8 jam untuk cleaning Generator Hidrogen Cooler, menyebabkan kerugian:

Tabel 6. Kerugian akibat Derating Unit Sebesar 80 MW

Kerugian akibat Derating Unit Sebesar 80 MW						
No	Beban	Satuan	Durasi	Jumlah	Harga KWh	Total
1	80	MW	8 Jam	640.000 Kwh	Rp1.352 (ESDM-No.- 28-Tahun- 2016)	Rp 865.280.000



Return on Investment (ROI):

$$\text{ROI} = (865.280.000 - 7.970.000) / 7.970.000 \times 100\% = 10.756\%$$

Investasi terbayar hanya dalam satu kejadian pencegahan derating, menunjukkan efektivitas ekonomi solusi yang sangat tinggi.

Manfaat Operasional:

- a. Peningkatan Reliability: Eliminasi single point of failure pada sistem filtering
- b. Pengurangan Maintenance: Bearing memiliki lifetime lebih panjang dibanding bushing
- c. Operasi Otomatis: Memungkinkan operasi filter sesuai desain tanpa intervensi manual
- d. Pencegahan Fouling: Kontaminan tersaring optimal, mencegah penyumbatan heat exchanger
- e. Stabilitas Temperatur: Menjaga temperatur operasi peralatan dalam batas normal

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan mengatasi gangguan rotor motor filter OCCW di PLTU Pangkalan Susu Unit 1 dan 2. Analisis vibrasi menggunakan standar ISO 10816-3 mengkonfirmasi kerusakan bearing dengan nilai vibrasi 8,4 mm/s dan 7,5 mm/s (kategori danger). Analisis spektrum mengidentifikasi dominasi BPFO pada  $2,2 \times$  order sebagai indikator kerusakan outer race bearing.

Implementasi solusi penggantian bushing dengan bearing SKF 6306-Z/C3 terbukti sangat efektif, menurunkan nilai vibrasi ke rentang normal (0,56-1,01 mm/s). Solusi ini menghasilkan ROI sebesar 10.756% dengan mencegah kerugian Rp 865.280.000 per kejadian derating, jauh melampaui investasi Rp 7.970.000.

Keberhasilan implementasi ini memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keandalan sistem pendingin PLTU Pangkalan Susu, stabilitas operasi pembangkit, dan ketahanan sistem kelistrikan Sumatera Utara.

## REFERENSI

- [1] Chen, Y., Liu, S., & Wang, J. (2019). "Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus." *Applied Water Science*, 9(8), 1-15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588912517300085>
- [2] Global Energy Monitor. (2025). "Pangkalan Susu power station." *Global Energy Monitor Wiki*. [https://www.gem.wiki/Pangkalan\\_Susu\\_power\\_station](https://www.gem.wiki/Pangkalan_Susu_power_station)
- [3] Alfa Laval. (2024). "Closed cooling water system for power plants." *Alfa Laval Industries*. <https://www.alfalaval.com/industries/energy-and-utilities/renewable-power/concentrated-solar-power-generation/closed-cooling-water-system/>
- [4] PAL Indonesia. (2020). "Heat Exchanger Closed Circulating Cooling Water (H/E C3W) System PLTU Pangkalan Susu." *Berita Satu*. <https://www.beritasatu.com/ekonomi/629587/pal-indonesia-selesaikan-proyek-pesanan-indonesia-pu-untuk-pltu-pangkalan-susu>
- [5] Hassan, O. E., Amer, M., Abdelsalam, A. K., & Williams, B. W. (2018). "Induction motor broken rotor bar fault detection techniques based on fault signature analysis—a review."



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

- IET Electric Power Applications*, 12(7), 895-907.  
<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-epa.2018.0054>
- [6] ALL-TEST Pro. (2023). "Synchronous Motor Rotor Fault Analysis." *ALL-TEST Pro Case Studies*. <https://alltestpro.com/synchronous-motor-rotor-fault-analysis/>
- [7] Duke Electric. (2025). "The essential guide to electric motor failure." *Duke Electric Motor Guide*. <https://www.dukeelectric.com/motors/failure/guide/>
- [8] Bethel, N. (2007). "Identifying Motor Defects through Fault Zone Analysis." *Reliable Plant Magazine*. <https://www.reliableplant.com/Read/4288/motor-defects-fault-zone>
- [9] Iris Power. (2017). "Rotor Winding Monitoring - Induction Motors." *Iris Power Monitoring Solutions*. <https://irispower.com/monitoring/rotor-fault-monitoring-induction-motors/>
- [10] Chen, Y., Liu, S., & Wang, J. (2019). Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Applied Water Science*, 9(8), 1-15.
- [11] Global Energy Monitor. (2025). Pangkalan Susu power station. *Global Energy Monitor Wiki*. Retrieved from [https://www.gem.wiki/Pangkalan\\_Susu\\_power\\_station](https://www.gem.wiki/Pangkalan_Susu_power_station)
- [12] Alfa Laval. (2024). Closed cooling water system for power plants. *Alfa Laval Industries*. Retrieved from <https://www.alfalaval.com/industries/energy-and-utilities/>
- [13] PAL Indonesia. (2020). Heat Exchanger Closed Circulating Cooling Water (H/E C3W) System PLTU Pangkalan Susu. *Berita Satu*. Retrieved from <https://www.beritasatu.com/ekonomi/629587/>
- [14] Hassan, O. E., Amer, M., Abdelsalam, A. K., & Williams, B. W. (2018). Induction motor broken rotor bar fault detection techniques based on fault signature analysis—a review. *IET Electric Power Applications*, 12(7), 895-907.
- [15] Duke Electric. (2025). The essential guide to electric motor failure. *Duke Electric Motor Guide*. Retrieved from <https://www.dukeelectric.com/motors/failure/guide/>
- [16] Bethel, N. (2007). Identifying Motor Defects through Fault Zone Analysis. *Reliable Plant Magazine*. Retrieved from <https://www.reliableplant.com/Read/4288/motor-defects-fault-zone>
- [17] Iris Power. (2017). Rotor Winding Monitoring - Induction Motors. *Iris Power Monitoring Solutions*. Retrieved from <https://irispower.com/monitoring/rotor-fault-monitoring-induction-motors/>
- [18] International Organization for Standardization. (2009). ISO 10816-3: Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ. Geneva: ISO.
- [19] Aryza, S., Tarigan, A. S. P., & Sinurat, R. F. (2022). Study an Improvement of Electrostatic Precipitator (ESP) Interference Protection Systems PLTU Pangkalan Susu Units 1 and 2. *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences*, 3(1), 145-158.

\*\*\*\*\*



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.