



Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran Menggunakan Standar Iso 10816 Pada Mesin Diesel di PLTD Tobelo

Grymmaldi Harindah

Institut Teknologi Pln, Jakarta, Indonesia

Email: harindah.grymmaldi@pln.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis getaran dan penerapan pemeliharaan prediktif pada mesin diesel kapasitas 1420 kW di ULPLTD Tobelo. PLTD adalah sumber energi utama di daerah terpencil Indonesia, di mana keandalan mesin diesel sangat penting. Getaran pada mesin diesel dapat mempengaruhi kinerja dan masa pakai mesin. Analisis getaran dilakukan menggunakan standar ISO 10816 dengan pengukuran di 6 titik di sekitar mesin untuk mengevaluasi kondisi komponen utama seperti cylinder head dan generator. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis getaran menggunakan standar ISO 10816 dan evaluasi penerapan pemeliharaan prediktif pada mesin diesel. Hasil pengukuran sebelum perbaikan menunjukkan nilai getaran yang tinggi pada beberapa titik: G_IV (Inboard Vertical) berkisar antara 5,59 mm/s hingga 7,25 mm/s dan G_OV (Outboard Vertical) berkisar antara 3,41 mm/s hingga 7,16 mm/s, mengindikasikan potensi masalah serius. Setelah dilakukan perbaikan bearing dan alignment, hasil pengukuran getaran menunjukkan penurunan signifikan: nilai getaran keseluruhan (OVR) turun menjadi 0,8193 mm/s, dan pada titik G_IV dan G_OV masing-masing tercatat 0,68 mm/s dan 0,46 mm/s. Penurunan ini mencerminkan peningkatan stabilitas dan performa operasional generator. Implementasi pemeliharaan prediktif berdasarkan analisis getaran terbukti efektif dalam mendeteksi dan mencegah masalah sebelum menjadi serius. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih dalam tentang karakteristik getaran mesin diesel dan efektivitas pemeliharaan prediktif dalam mendeteksi dan mencegah masalah. Temuan ini dapat berkontribusi pada pengembangan praktik terbaik pemeliharaan prediktif di industri energi, baik di Indonesia maupun di tingkat global, untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan sistem pembangkit listrik.

Kata Kunci: getaran, pemeliharaan prediktif, mesin diesel, pembangkit listrik, ISO 10816

Abstract

This study aims to analyze the vibration and application of predictive maintenance in a diesel engine with a capacity of 1420 kW at ULPLTD Tobelo. PLTD is a major energy source in remote areas of Indonesia, where the reliability of diesel engines is critical. Vibrations in diesel engines can affect engine performance and life. Vibration analysis was carried out using the ISO 10816 standard with measurements at 6 points around the engine to evaluate the condition of key components such as cylinder heads and generators. The research method used is vibration analysis using ISO 10816 standard and evaluation of the application of predictive maintenance on diesel engines. Measurement results prior to the repair showed high vibration values at several points: G_IV (Inboard Vertical) ranged from 5.59 mm/s to 7.25 mm/s and G_OV (Outboard Vertical) ranged from 3.41 mm/s to 7.16 mm/s, indicating a potential serious problem. After the improvement of the bearing and alignment, the vibration measurement results showed a significant decrease: the overall vibration value (OVR) dropped to 0.8193 mm/s, and at the G_IV and G_OV points were recorded at 0.68 mm/s and 0.46 mm/s, respectively. This decrease reflects the improved stability and operational performance of the generator. The implementation of predictive maintenance based on vibration analysis has proven to be effective in detecting and preventing problems before they become serious. This research is expected to provide a deeper understanding of the vibration characteristics of diesel engines and the effectiveness of predictive maintenance in detecting and preventing problems. These findings can contribute to the development of predictive maintenance best practices in the energy industry, both in Indonesia and at the global level, to improve the operational efficiency and reliability of power generation systems.

Keywords : vibration, predictive maintenance, diesel engine, power plant, ISO 10816

PENDAHULUAN

Listrik adalah kebutuhan esensial bagi masyarakat, dengan memastikan pasokan listrik yang berkelanjutan dan berkualitas tinggi dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat. Salah satu cara untuk memenuhi permintaan ini adalah melalui penggunaan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). PLTD ini menggunakan bahan bakar diesel untuk menghasilkan listrik dan menyediakan sumber energi yang dapat diandalkan untuk berbagai sektor seperti perumahan, industri, dan komersial. PLTD sangat cocok untuk daerah-daerah di mana akses ke sumber energi lain mungkin terbatas atau tidak dapat diandalkan. Selain itu, PLTD dapat beroperasi pada tingkat beban yang bervariasi dan mampu menyediakan pasokan energi yang konstan dan memiliki, ketangguhan dan kemampuan untuk bertahan dalam jangka waktu yang lama tanpa gangguan. PLTD juga merupakan pilihan populer untuk industri yang membutuhkan pasokan listrik karena dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus menerus (Eremeev, Morozov, and Kotkov 2020).

PLTD merupakan salah satu sumber energi utama dalam memenuhi kebutuhan listrik di banyak daerah terpencil atau pulau-pulau terpencil di Indonesia (Legawa, Artana, and Pratiwi 2020). Mesin diesel merupakan komponen utama pada PLTD. Hal tersebut dikarenakan keandalan dan daya tahan mesin terhadap kondisi mesin operasional yang keras. Namun, mesin diesel rentan terhadap getaran yang dapat berpengaruh signifikan terhadap kinerja operasional mesin (Akhtulov and Ivanova 2020). Menurut (Sani et al. 2018), telah mengidentifikasi bahwa tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh getaran tersebut dapat menjadi masalah serius, mengganggu lingkungan di sekitarnya, baik di kawasan industri maupun perumahan. Penelitian oleh (Júnior et al. 2020) menyoroti bahwa getaran yang berlebihan dapat menyebabkan keausan dini pada komponen-komponen mesin diesel. Dampak ini tidak hanya mempengaruhi kinerja mesin secara langsung, tetapi juga meningkatkan risiko kegagalan mekanis yang dapat mengurangi masa pakai mesin secara keseluruhan.

Analisis getaran mesin sangat penting untuk mendiagnosis dan mendeteksi potensi kerusakan atau malfungsi suatu sistem. Dengan menganalisis pola dan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh mesin, dapat diidentifikasi getaran abnormal yang mungkin mengindikasikan adanya masalah mendasar. Selain itu, analisis ini akan membantu mengidentifikasi akar penyebab getaran yang berlebihan dan memberikan wawasan tentang kesehatan dan kondisi berbagai komponen seperti *cylinder head* dan generator. Pendekatan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan teknik visualisasi gerakan getaran. Dengan teknik ini, dapat mengamati dan menganalisis gerakan getaran secara visual, dengan fokus pada sisi penggerak dan sisi yang digerakkan dengan enam titik pengukuran. Analisis ini akan memungkinkan untuk menilai kondisi mesin pada bagian generator secara akurat, mengidentifikasi area yang perlu diperhatikan, dan mengembangkan strategi perawatan yang efektif (Glushchenko 2021). Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang fenomena getaran pada mesin diesel dan upaya untuk menguranginya menjadi hal yang sangat penting dalam memastikan kinerja yang optimal dan umur pakai yang panjang dari mesin diesel tersebut. Di sisi lain, PLTD Tobelo adalah salah satu infrastruktur vital yang menyediakan pasokan listrik bagi masyarakat di wilayah tersebut. PLTD ini mengandalkan mesin diesel sebagai mesin utama untuk menghasilkan listrik. Mesin ini memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga ketersediaan energi listrik yang handal dan berkelanjutan bagi wilayah tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, pentingnya peran mesin diesel dalam operasional PLTD Tobelo, pemantauan dan pemeliharaan yang tepat waktu menjadi krusial untuk memastikan kinerja optimal dan keandalan sistem. Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan mesin ini adalah evaluasi getaran yang dihasilkan oleh mesin. Getaran yang berlebihan pada mesin dapat menjadi

indikator awal adanya masalah yang mungkin terjadi, seperti keausan komponen, ketidakseimbangan, atau kerusakan struktural lainnya. Oleh karena itu, analisis vibrasi menjadi alat penting dalam pemantauan kondisi mesin untuk mendeteksi masalah potensial sebelum mereka berkembang menjadi masalah yang lebih serius (Teng et al. 2021) (Santoso 2019).

Analisa vibrasi pada mesin diesel dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 10816. Standar ISO 10816 memberikan panduan yang terpercaya dalam mengevaluasi tingkat keparahan getaran. Dalam konteks PLTD Tobelo, penerapan standar ini akan memberikan kerangka kerja yang jelas untuk menentukan apakah tingkat getaran mesin diesel berada dalam batas yang dapat diterima. Dengan melakukan analisis vibrasi secara teratur sesuai dengan standar ISO 10816, PLTD Tobelo dapat mengidentifikasi potensi masalah pada mesin diesel dengan lebih cepat dan akurat. Tindakan perbaikan atau pemeliharaan yang tepat waktu dapat diambil untuk mencegah gangguan operasional yang tidak diinginkan, meningkatkan efisiensi operasional, dan memperpanjang masa pakai mesin secara keseluruhan. Penerapan standar ISO 10816 dalam pemantauan dan evaluasi kinerja juga membantu PLTD Tobelo mematuhi standar internasional dalam industri energi. Ini penting tidak hanya untuk menjaga keandalan operasional PLTD secara lokal tetapi juga untuk mempertahankan standar yang setara dengan praktik terbaik di seluruh dunia. Selain manfaat teknis dan operasional, analisis vibrasi juga memiliki implikasi ekonomi yang signifikan. Dengan mendeteksi potensi masalah secara dini dan mencegah kegagalan mesin dan generator, PLTD Tobelo dapat menghindari biaya perbaikan yang tidak terduga dan mengurangi downtime yang mahal akibat gangguan operasional. Dengan adopsi pemeliharaan prediktif, PLTD Tobelo dapat secara proaktif mengidentifikasi masalah potensial pada mesin diesel sebelum mereka menyebabkan gangguan operasional yang signifikan. Ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan data getaran yang dikumpulkan dari mesin dan menganalisisnya secara langsung sesuai dengan standar ISO 10816.

Pemeliharaan mesin diesel mencakup berbagai aspek, mulai dari pemeriksaan rutin hingga tindakan perbaikan yang kompleks. Dalam konteks ini, pemeliharaan dapat dikelompokkan ke dalam beberapa tipe, antara lain :

1. Pemeliharaan preventif dilakukan secara berkala untuk mencegah kerusakan atau kegagalan mesin di masa mendatang. Ini meliputi pemeriksaan rutin, penggantian suku cadang secara teratur, dan perawatan umum lainnya untuk menjaga kinerja optimal mesin.
2. Pemeliharaan korektif dilakukan setelah terjadi masalah atau kerusakan pada mesin. Tindakan ini termasuk perbaikan komponen yang rusak, penggantian suku cadang yang telah aus, atau perbaikan sistem yang tidak berfungsi dengan baik.
3. Pemeliharaan prediktif menggunakan data dan teknologi untuk memonitor kondisi mesin secara real-time dan memprediksi kemungkinan kerusakan atau kegagalan di masa mendatang. Ini memungkinkan perbaikan dilakukan sebelum masalah menjadi lebih serius, mengurangi downtime dan biaya pemeliharaan.
4. Pemeliharaan reaktif terjadi ketika tindakan pemeliharaan diambil setelah terjadi kegagalan atau kerusakan pada mesin. Meskipun tidak diinginkan, pemeliharaan reaktif masih diperlukan untuk memperbaiki masalah yang telah terjadi.
5. Pemeliharaan proaktif melibatkan identifikasi potensi masalah atau kelemahan pada mesin dan mengambil tindakan untuk mencegahnya sebelum masalah muncul. Ini melibatkan analisis risiko, perbaikan sistem, atau peningkatan komponen untuk meningkatkan kinerja dan keandalan mesin.

Pemeliharaan prediktif memungkinkan PLTD Tobelo untuk merencanakan tindakan perbaikan atau perawatan dengan lebih efisien dan efektif. Sebagai contoh, jika analisis vibrasi menunjukkan adanya peningkatan level getaran pada suatu komponen tertentu, tim pemeliharaan dapat diarahkan untuk melakukan inspeksi mendalam atau penggantian komponen sebelum terjadi kegagalan yang lebih

serius. Selain itu, pemeliharaan prediktif juga dapat membantu mengoptimalkan jadwal perawatan rutin, mengurangi kebutuhan untuk inspeksi berbasis waktu, dan meminimalkan downtime yang tidak terencana. Hal ini akan berdampak positif pada ketersediaan dan kinerja keseluruhan PLTD Tobelo.

Mesin diesel adalah salah satu sumber daya utama dalam banyak aplikasi industri, mengubah energi kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik yang berguna. Namun, sebagai perangkat mekanis, kerusakan merupakan masalah umum yang harus diatasi oleh insinyur. Sehingga, dilakukan riset untuk menemukan sistem deteksi kerusakan yang efektif, memantau kesehatan mesin. Berbagai sinyal seperti kecepatan rotasi, suhu, kualitas bahan bakar, dan getaran dapat diukur untuk tujuan pemantauan (Tharanga et al. 2020). Menurut (Suryadi et al. 2018) Vibrasi pada mesin diesel adalah getaran yang dapat terjadi akibat berbagai faktor. Hal ini bisa disebabkan oleh ketidakseimbangan dalam komponen mesin, misalignment atau kesalahan penjajaran komponen mesin, keausan atau kerusakan pada bantalan, atau kebengkokan poros. Dalam perawatan mesin industri, termasuk mesin diesel, salah satu metode yang sering digunakan untuk mengidentifikasi dan mencegah kerusakan lebih lanjut adalah melalui predictive maintenance, berdasarkan pengamatan dan analisis sinyal getaran yang timbul dari mesin. Menurut (Vilchez et al. 2021); (Widodo, Khoryanton, and Pramono 2021) Analisis getaran ini sangat penting untuk pemeliharaan mesin dan dapat membantu dalam mendeteksi potensi kerusakan sebelum terjadi kegagalan yang signifikan, memungkinkan tindakan korektif yang tepat waktu, sehingga meminimalkan biaya operasi dan pemeliharaan.

Dalam sebagian besar industri pembangkit listrik, komponen yang berputar adalah elemen kunci dalam menghasilkan daya listrik. Kesalahan pada mesin yang berputar dapat mengakibatkan penurunan kinerja mesin secara keseluruhan, bahkan bisa menyebabkan kegagalan atau kerusakan sistem. Kondisi ini langsung terkait dengan biaya pemeliharaan pabrik dan dapat mengancam tingkat keselamatan. Sebagai bagian dari strategi pemeliharaan berbasis kondisi, penggunaan analisis getaran merupakan salah satu metode penting untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan sistem pabrik. Menganalisis getaran yang dihasilkan oleh generator pada pembangkit listrik dengan menggunakan standar ISO 10816 (Khadersab and Shivakumar 2018). Standar ISO 10816 memberikan pedoman dan spesifikasi untuk pengukuran, evaluasi, dan klasifikasi getaran pada mesin yang berputar. Diskusi berikut akan menjelaskan berbagai jenis kerusakan mesin yang dapat terdeteksi melalui analisis getaran, menjadi landasan teknis dalam penelitian ini (Reksonso and Miasa 2019). Ketidakseimbangan (Unbalance) adalah sumber getaran yang paling umum terjadi pada peralatan yang berputar. Namun, rotor dengan masalah getaran tidak boleh secara otomatis diasumsikan tidak seimbang. Spektrum getaran dapat mendiagnosis kondisi ketidakseimbangan mesin yang sebenarnya. Getaran akibat ketidakseimbangan terjadi pada frekuensi satu kali (1X) kecepatan putaran poros dari elemen yang tidak seimbang, dan amplitudonya sebanding dengan jumlah ketidakseimbangan (Rismawan and Aisyah 2023). ketidakseimbangan peralatan yang berputar memiliki karakteristik unik dalam spektrum getaran atau perilaku mesin dan dapat dicirikan terutama oleh satu kali (1X) kecepatan putaran poros.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh getaran yang dihasilkan oleh mesin diesel di PLTD Tobelo dan mengevaluasi efektivitas implementasi pemeliharaan prediktif berdasarkan analisis vibrasi sesuai dengan standar ISO 10816 dalam mendeteksi dan mencegah potensi masalah di mesin diesel PLTD Tobelo.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain: Penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik getaran yang dihasilkan oleh mesin diesel di PLTD Tobelo. Hal ini akan membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah dan meningkatkan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja mesin.

Dengan implementasi pemeliharaan prediktif berdasarkan analisis vibrasi, penelitian ini akan memberikan pandangan tentang seberapa efisien pendekatan ini dalam mendeteksi dan mencegah

masalah pada mesin. Hal ini dapat mengarah pada pengoptimalan jadwal perawatan, pengurangan biaya perbaikan yang tidak terduga, dan pengurangan downtime yang mahal akibat gangguan operasional. Dengan memahami karakteristik getaran mesin dan menerapkan pemeliharaan prediktif yang efektif, penelitian ini akan membantu meningkatkan keandalan sistem pembangkit listrik di PLTD Tobelo. Hal ini akan mengurangi risiko kegagalan mesin, meningkatkan ketersediaan energi listrik, dan memperpanjang masa pakai mesin secara keseluruhan. Temuan dari penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan praktik terbaik dalam pemantauan kondisi mesin dan pemeliharaan prediktif di industri energi, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di tingkat global. Ini dapat membantu organisasi energi lainnya untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan sistem mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengumpulan data berlokasi pada PT PLN (Persero) PLTD Tobelo, Unit Pelaksana Pembangkitan (UPK) Maluku, Unit Induk Wilayah (UIW) Maluku & Maluku Utara yang beralamat di Desa Rawajaya, Kecamatan Tobelo, Kabupaten Halmahera Utara. Waktu Penelitian yaitu periode Persiapan dan Perencanaan dalam waktu 1 bulan sebelum mulainya pengukuran. Kegiatan yaitu persiapan alat dan bahan, perencanaan metode pengukuran, serta koordinasi dengan pihak terkait di PLTD Tobelo dan untuk periode pengumpulan data selama 3 bulan. Pengukuran vibrasi mesin Caterpillar 3606 pada bagian generator secara berkala selama periode operasional normal PLTD Tobelo. Pengumpulan data dilakukan di berbagai kondisi operasional untuk memperoleh data yang representatif. Periode Analisis Data dilakukan selama 2 bulan setelah selesai pengumpulan data. Kegiatan yaitu pengolahan dan analisis data vibrasi yang terkumpul untuk mengidentifikasi pola getaran, sumber getaran, dan dampaknya terhadap kinerja mesin. Periode Penyusunan Laporan dan Strategi Perawatan dilakukan selama 1 bulan setelah analisis data selesai dengan kegiatan penyusunan laporan hasil penelitian serta perumusan usulan strategi perawatan preventif berdasarkan temuan dan analisis yang telah dilakukan. metode penelitian yang digunakan adalah analisis getaran menggunakan standar ISO 10816 dan evaluasi penerapan pemeliharaan prediktif pada mesin diesel.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan Metode Pengamatan Langsung dan Metode Pengamatan Tak Langsung.

Metode Pengamatan Langsung

1. Pengukuran vibrasi dilakukan secara langsung pada mesin yang sedang beroperasi menggunakan alat pengukur vibrasi yang sesuai. Data yang diambil meliputi frekuensi, amplitudo, dan arah getaran untuk menganalisis karakteristik vibrasi mesin secara detail.
2. Selama periode pengukuran, data operasional mesin juga direkam, termasuk beban kerja, putaran mesin, suhu, dan tekanan oli. Hal ini membantu dalam memperoleh konteks operasional yang lebih lengkap untuk analisis vibrasi.
3. Data vibrasi yang diperoleh kemudian dianalisis secara rinci untuk mengidentifikasi pola vibrasi yang tidak normal, frekuensi dominan, serta potensi dampaknya terhadap keandalan operasional mesin dan komponen-komponen kritis.

Metode Pengamatan Tak Langsung

1. Mengumpulkan dan menganalisis data riwayat perawatan mesin Caterpillar 3606 untuk mengetahui jenis perawatan yang telah dilakukan terkait dengan masalah vibrasi, frekuensi perawatan, dan efektivitasnya dalam mengurangi vibrasi.
2. Memeriksa dokumen terkait seperti laporan inspeksi serta catatan pemeliharaan untuk mendapatkan gambaran lebih lanjut tentang sejarah masalah vibrasi dan tindakan yang telah diambil untuk mengatasi masalah tersebut.

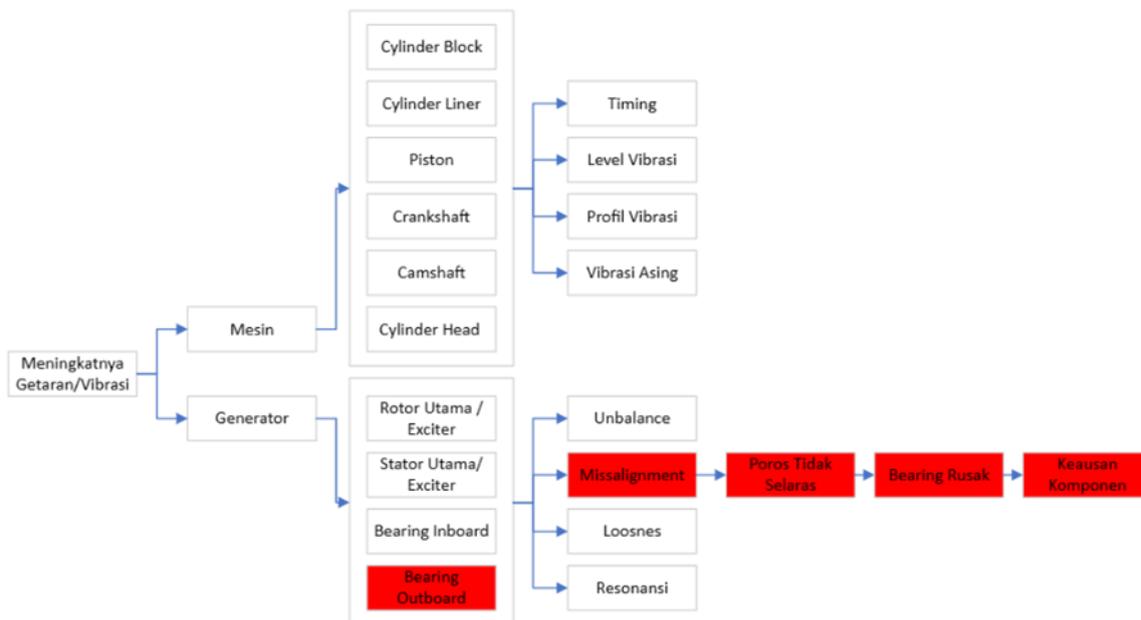
Metode Analisis Data

1. Data vibrasi yang terkumpul akan diolah secara awal untuk membersihkan data dari gangguan atau noise yang tidak relevan, seperti getaran akibat aktivitas eksternal.
2. Menentukan frekuensi utama dan sub-harmonik yang mungkin terkait dengan komponen-komponen mesin atau sumber getaran lainnya.
3. Menganalisis amplitudo getaran untuk memahami tingkat intensitas getaran yang dialami oleh generator pada frekuensi-frekuensi tertentu. Menganalisis pola getaran untuk menentukan sumber getaran yang mungkin, seperti ketidakseimbangan, keausan.
4. Melakukan analisis tren dari data vibrasi untuk melihat perubahan dalam karakteristik getaran dari waktu ke waktu. Mengidentifikasi apakah ada perubahan yang signifikan dalam tingkat getaran atau distribusi frekuensi yang dapat mengindikasikan potensi masalah atau kerusakan yang berkembang.
5. Berdasarkan hasil analisis, menyusun usulan strategi perawatan preventif yang efektif untuk mengurangi atau mencegah dampak negatif dari getaran terhadap kinerja dan keandalan operasional mesin.

Kegiatan pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap persiapan penelitian hingga penyelesaian tahap pelaporan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa



Gambar 1. Diagram RCFA Vibrasi menggunakan Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis penyebab utama dari suatu kegagalan dengan cara memecahkannya menjadi komponen-komponen yang lebih kecil. Berikut hasil analisis menggunakan FTA dengan tabel :

VIBRASI GENERATOR																
Item				Value							ISO 10816-3					
Asset	Type	Data	Satuan	1	2	3	4	5	6	7	Baseline	Alarm	Creterion II (+- 25%)	W1 (+25%)	W1 (-25%)	Status update
Generator	G_IH	RMS	mm/s	4.6	5	4.3	4.5	4.6	3.1	3.1	4.18	5.06	1.14	5.71	3.43	Normal
Generator	G_IV	RMS	mm/s	5.3	5.6	5.9	4.8	5.1	4.6	4.6	5.13	6.00	1.32	6.59	3.95	Pre-warning
Generator	G_IA	RMS	mm/s	3.6	3.7	3.2	3.3	3.6	2.7	2.8	3.26	4.14	0.91	4.54	2.72	Normal
Generator	G_OH	RMS	mm/s	3.4	3.4	2.1	5.1	5.2	2.2	2.1	3.34	4.22	0.84	4.21	2.53	Normal
Generator	G_OV	RMS	mm/s	3.2	3.9	3.3	4.9	5.9	2.8	3.3	3.92	4.79	0.81	4.05	2.43	Normal
Generator	G_OA	RMS	mm/s	5	4.4	2.7	3.9	4.3	2.8	2.8	3.69	4.56	1.24	6.20	3.72	Normal

Gambar 2. Analisa Vibrasi Rotating (ISO 10816-3)

Parameter	Unbalance	Misalignment	Loosness	Resonansi	Spike	Freq Bearing
Generator IH		✓				
Generator IV		✓				
Generator IA		✓				
Generator OH					✓	
Generator OV	✓				✓	
Generator OA		✓				✓

Gambar 3. Analisa Vibrasi Rotating (Spektrum/Waveform)

Parameter	Timing	Level	Profil	Vibrasi Asing
Cylinder #1	Normal	Normal = 6.41	Normal	Normal
Cylinder #2	EC = TTF	High High = 15.54 = EC	Double Impact	Normal
Cylinder #3	Normal	High = 11.79	Normal	Normal
Cylinder #4	Normal	Normal = 6.8	Normal	Muncul di IC
Cylinder #5	Normal	High = 10.2	Normal	Normal
Cylinder #6	Normal	High High = 16.8 = Combustion	Double Impact	Normal

Gambar 4. Analisa Vibrasi Reciprocating

Rencana Pemeliharaan

Unit	Merk/Type	SN	Lokasi	Material	Hand Tools	Spesial tools	Teknisi	Jenis Outage	Start Outage	Finish Outage
3	Caterpillar 3606	8RB00634	Tobelo	AMS = 22/03/2024	Tersedia	Tidak Tersedia	Tersedia	Planned Outage	16/05/2024	28/05/2024
				Permintaan Material = 22/03/2024		Pembuatan Spesial Tools = 25-30 /03/2024	Tim Har			
				Proses Kontrak = 25/04/2024						
				Penerimaan Material = 15/05/2024						
				Pemeriksaan Material = 15/05/2024						

Gambar 5. Planned Outage Caterpillar 3606 SN 8RB00634

Rencana pemeliharaan untuk Unit Caterpillar 3606 di PLTD Tobelo dilakukan secara Planned Outage dengan tujuan memastikan unit beroperasi dengan optimal. Persiapan awal dimulai pada 22 Maret 2024 dengan permintaan material, diikuti dengan proses kontrak pada 25 April 2024 untuk pengadaan material dan layanan yang dibutuhkan. Material diterima dan diperiksa kualitasnya pada 15 Mei 2024, memastikan semuanya sesuai dengan spesifikasi. Pembuatan alat khusus yang dibutuhkan dilakukan pada 25-30 Maret 2024. Pelaksanaan planned outage dimulai pada 16 Mei 2024, di mana proses penghentian operasi unit dilakukan untuk memulai pemeliharaan. Aktivitas pemeliharaan

meliputi pemeriksaan dan pembersihan unit secara menyeluruh, penggantian komponen yang aus atau rusak, pelumasan dan penyesuaian mekanis, serta kalibrasi dan pengujian fungsi unit. Semua aktivitas pemeliharaan direncanakan selesai pada 28 Mei 2024, setelah itu unit siap dioperasikan kembali. Tim teknisi yang bertugas adalah Tim Har, dengan alat tangan yang tersedia dan pembuatan special tools telah diselesaikan sesuai jadwal. Pemeliharaan ini merupakan planned outage, yang direncanakan dengan baik untuk memastikan kelancaran operasional unit setelah pemeliharaan selesai.

Uraian Pekerjaan

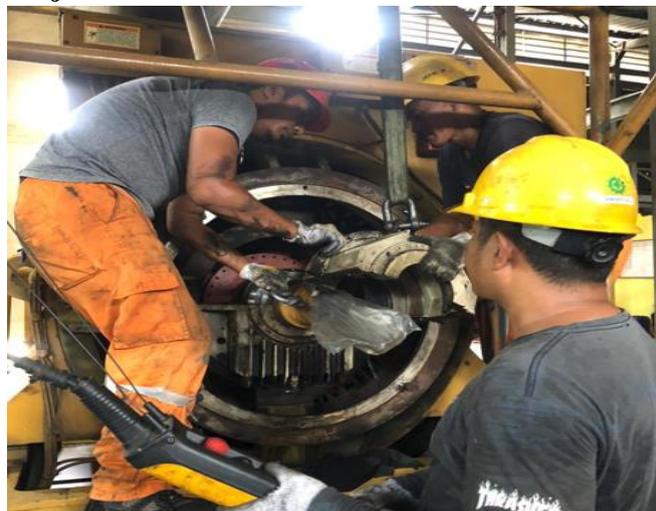
PT. PLN (PERSERO) UNIT INDUK WILAYAH MALUKU DAN MALUKU UTARA UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN MALUKU		FORMULIR WORK ORDER					
		No. Dokumen	: UPKM-FR-OPH-02				
		Revisi	: 00				
		Tanggal	: 15 September 2022				
Tanggal	: 16 Mei 2024						
Nomor SR	:						
Nomor WO	: WO_00059						
Aset	: Caterpillar 3806 SN 8RB00634						
Lokasi	: ULPLTD Tobelo						
Deskripsi	: Pemeriksaan dan Penggantian Bearing Generator NDE						
Prioritas	Biasa	P0	P1	P2	P3	P4	P5
	Segera						
Type	Amat segera	MESIN	AUX	LISTRIK			
	Preventive	MESIN	AUX	LISTRIK			
	Predictive	TO	SO	MO			
	Corrective						
	Periodic						
Kategori Pekerjaan	K4L	PM Pemeriksaan & Penggantian Material/Alignment Generator					
	Lainnya						
APD	Pekerjaan Beresiko Tinggi	Check					
	Pekerjaan Beresiko Rendah	Check					
	Helm						
	Sarung Tangan Kerja						
	Sarung Tangan 20 kV						
	Ear Plug	Check					
	Sepatu Safety	Check					
	Masker	Check					
	Kaca Mata	Check					
	Sepatu 20 kV						
Lainnya							
A. Lock Out Tag Out							
Mulai Pekerjaan (Pemasangan Log Out Tag Out)	Tanggal	: 16 Mei 2024					
	Pukul	: 8:30					
	Paraf Har	[Signature]					
Penyelesaian Pekerjaan (Pelepasan Log Out Tag Out)	Paraf Operasi	[Signature]					
	Tanggal	: 28 Mei 2024					
	Pukul	: 14:30					
Paraf Har	[Signature]						
Paraf Operasi	[Signature]						
B. Petugas Pelaksana							
NO	NAMA	JUMLAH	WAKTU	JABATAN			
1	Grymmaldi Harindah	1	8	TL Pemeliharaan			
2	Ridwan Mangempa	1	8	TAD Pemeliharaan			
3	Hance Y Lestuni	1	8	TAD Pemeliharaan			
4	Jefri Mairuhu	1	8	TAD Pemeliharaan			
C. Kegiatan							
NO	URAIAN	MULAI	SELESAI	KETERANGAN			
1	Melepas	8:00	19:00				
2	Melepas cover stator PMG	8:00	19:00				
3	Melepas cover stator Exciter	8:00	19:00				
4	Pemeriksaan Alignment Generator	8:00	19:00	Misalignment			
5	Melepas baut shaft coupling engine & generator	8:00	19:00				
6	Membuang oli bearing generator sisi NDE	8:00	19:00				
7	Melepas stator PMG	8:00	19:00				
8	Melepas rotor PMG	8:00	19:00				
9	Melepas stator exciter	8:00	19:00				
10	Melepas rotor exciter	8:00	19:00				
11	Melepas cover bearing NDE/DE	8:00	19:00				
12	Melepas seal bearing NDE	8:00	19:00				
13	Melepas journal bearing NDE	8:00	19:00				
14	Pemeriksaan journal bearing NDE	8:00	19:00	Kerusakan/keausan			
15	Pemeriksaan/Pengukuran Shaft Rotor	8:00	19:00				
16	Pembersihan material pembongkaran	8:00	19:00				
17	Pemasangan material baru (Journal Bearing & Seal)	8:00	19:00				
18	Perakitan material	8:00	19:00				
19	Alignment generator	8:00	19:00				
D. Material							
NO	MATERIAL	SATUAN	JUMLAH	KETERANGAN			
1	Journal Bearing	Set	1	Lengkap			
2	Seal/Gasket	Set	1	Lengkap			
E. Peralatan							
NO	TOOLS	SATUAN	JUMLAH	KETERANGAN			
1	Handtools	Set	1	Ada/Lengkap			
2	Special Tools	Set	2	Ada/Lengkap			
F. Hasil Pekerjaan							
NO	KETERANGAN						
1	Ditemukan misalignment saat dilakukan pengukuran alignment						
2	Ditemukan kerusakan (keausan) pada permukaan journal bearing di bearing generator sisi NDE						

Gambar 6. Work Order

Formulir Work Order di atas adalah milik PT. PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Maluku dan Maluku Utara, Unit Pelaksana Pembangkitan Maluku dengan nomor dokumen UPKM-FR-OPH-02. Formulir ini digunakan untuk kegiatan pemeriksaan dan penggantian bearing generator sisi NDE (*Non-*

Drive End) di lokasi PLTD Tobelo. Detail pekerjaan dimulai pada tanggal 16 Mei 2024 dan selesai pada tanggal 28 Mei 2024, dengan prioritas pekerjaan normal dan jenis pekerjaan preventif (P0). Pekerjaan ini termasuk dalam kategori pekerjaan beresiko tinggi dan menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) lengkap, termasuk sepatu 20 kV. Proses lock out tag out (LOTO) dimulai pada tanggal 16 Mei 2024 pukul 8:30 dan selesai pada tanggal 28 Mei 2024 pukul 14:30. Tim pelaksana terdiri dari Grymmaldi Harindah (TL Pemeliharaan), Ridwan Mangempa, Hance Y Lestuni, dan Jeffi Mairuhu (semua dari TAD Pemeliharaan), yang bekerja selama 8 jam per hari. Kegiatan meliputi pelepasan cover stator PMG, pelepasan stator exciter, pemeriksaan alignment generator, pelepasan baut shaft coupling engine dan generator, melepas oli bearing generator sisi NDE, serta pemasangan material baru (journal bearing dan seal). Pada saat pemeriksaan alignment generator, ditemukan misalignment, dan saat pemeriksaan bearing NDE ditemukan kerusakan (keausan) pada permukaan journal bearing. Material yang digunakan mencakup journal bearing dan seal/gasket, sedangkan alat yang digunakan mencakup handtools dan special tools. Hasil pekerjaan menunjukkan ditemukan misalignment dan kerusakan pada journal bearing di sisi NDE generator.

Dokumentasi Hasil Pekerjaan



Gambar 7. Pembongkaran Bearing Generator



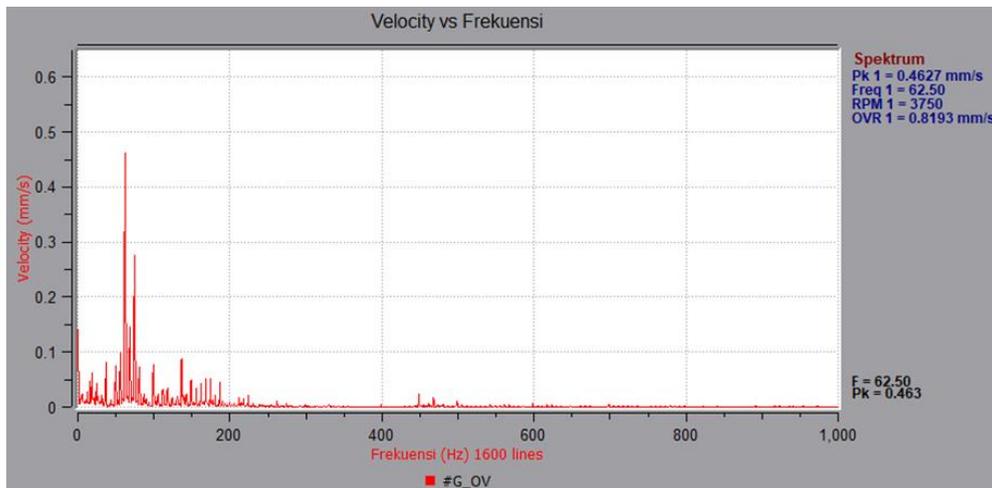
Gambar 8. Temuan Kerusakan Pada Journal Bearing

Hasil Vibrasi Setelah Perbaikan

Perbaikan bearing dan alignment pada generator dilakukan untuk mengatasi masalah vibrasi yang diidentifikasi sebelumnya. Setelah perbaikan ini, diharapkan nilai vibrasi turun signifikan dan masalah misalignment dapat terselesaikan. Berikut adalah review hasil vibrasi setelah perbaikan.

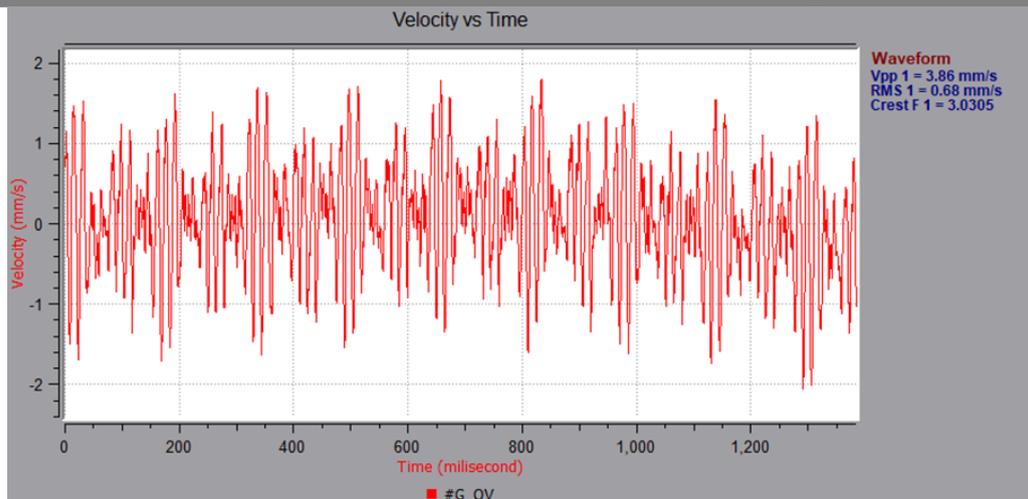
VIBRASI GENERATOR												
Item				Value			ISO 10816-3					Status update
Asset		TypeData	Satuan	1	2	3	Baseline	Alarm	Creterion II (+- 25%)	W1 (+25%)	W1 (-25%)	
Generator	G_IH	RMS	mm/s	2.76	3	2.7	2.82	2.82	0.69	3.45	2.07	Normal
Generator	G_IV	RMS	mm/s	3.18	3.36	3.54	3.36	3.36	0.80	3.98	2.39	Normal
Generator	G_IA	RMS	mm/s	2.16	2.22	1.92	2.10	2.10	0.54	2.70	1.62	Normal
Generator	G_OH	RMS	mm/s	2.04	2.04	1.74	1.94	1.94	0.51	2.55	1.53	Normal
Generator	G_OV	RMS	mm/s	2.34	2.52	2.7	2.52	2.52	0.59	2.93	1.76	Normal
Generator	G_OA	RMS	mm/s	2.64	2.94	2.34	2.64	2.64	0.66	3.30	1.98	Normal

Gambar 9. Hasil Vibrasi Setelah Perbaikan



Gambar 10. Hasil Spektrum Vibrasi Setelah Perbaikan

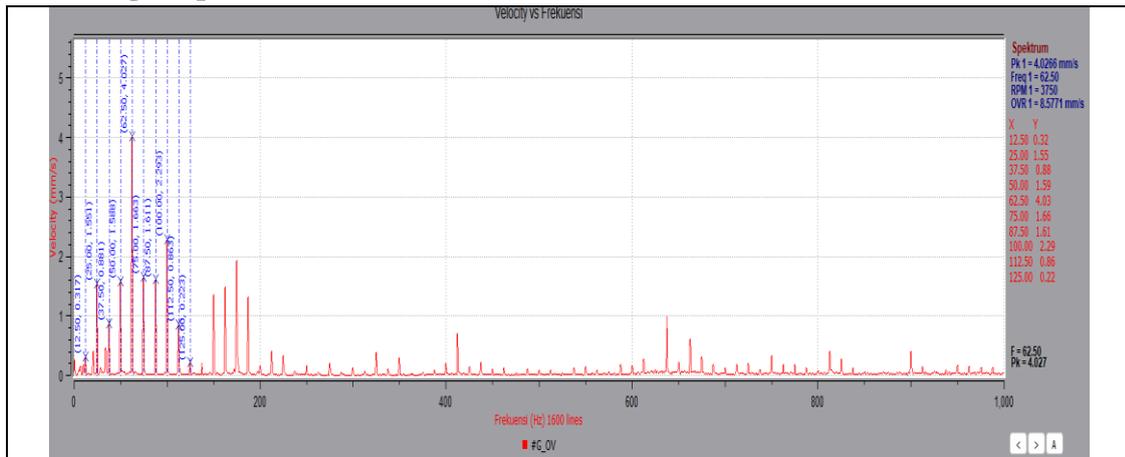
Setelah dilakukan perbaikan bearing dan alignment pada generator, analisis spektrum vibrasi menunjukkan hasil yang positif. Puncak amplitudo getaran pada frekuensi 62.50 Hz berada di angka 0.4627 mm/s, yang menandakan penurunan signifikan dalam amplitudo getaran setelah perbaikan. Nilai getaran keseluruhan (OVR) tercatat sebesar 0.8193 mm/s, yang berada dalam batas aman dan menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan oleh generator setelah perbaikan berada dalam level yang dapat diterima. Grafik spektrum menunjukkan bahwa sebagian besar energi getaran terkonsentrasi pada frekuensi rendah, dengan amplitudo getaran yang menurun signifikan setelah 200 Hz. Hal ini sesuai dengan kondisi normal operasi generator, di mana getaran pada frekuensi tinggi umumnya lebih rendah kecuali ada masalah spesifik seperti kerusakan bearing atau misalignment. Frekuensi dominan pada 62.50 Hz perlu dimonitor secara berkala untuk memastikan tidak ada potensi masalah di masa mendatang. Secara keseluruhan, perbaikan bearing dan alignment telah berhasil meningkatkan stabilitas dan performa operasional generator, dengan penurunan getaran yang signifikan dan kondisi getaran yang berada dalam batas aman sesuai standar.



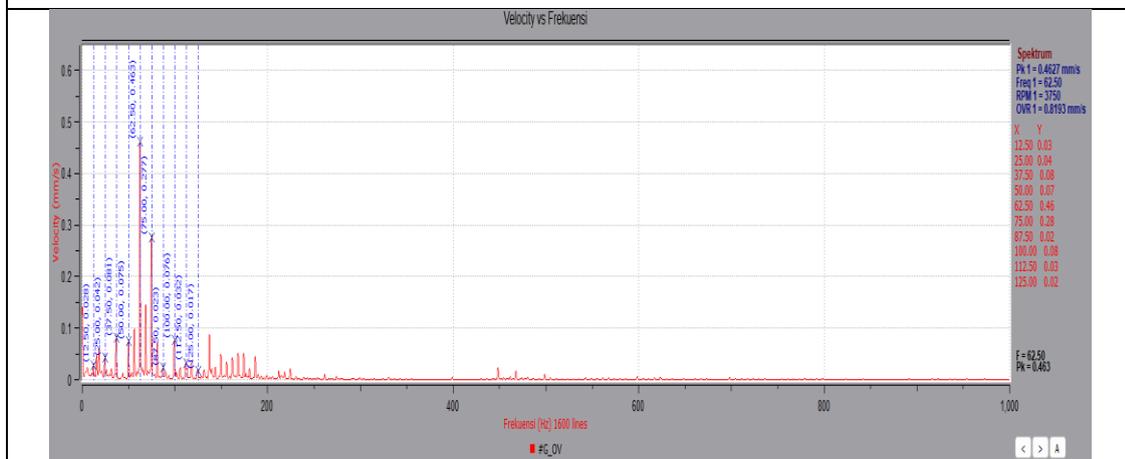
Gambar 11. Hasil Waveform Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan perbaikan bearing dan alignment pada generator, analisis waveform menunjukkan hasil yang positif. Amplitudo puncak ke puncak (V_{pp}) tercatat sebesar 3.86 mm/s, menunjukkan tingkat getaran maksimum yang masih dalam batas yang dapat diterima. Nilai RMS getaran sebesar 0.68 mm/s berada dalam batas aman, mengindikasikan bahwa rata-rata getaran setelah perbaikan berada pada level yang rendah. Faktor crest tercatat sebesar 3.3035, menggambarkan rasio antara amplitudo puncak dan nilai RMS, yang menunjukkan getaran yang lebih konsisten dan kurang adanya puncak getaran yang ekstrem. Grafik waveform menunjukkan pola getaran yang lebih stabil setelah perbaikan, tanpa fluktuasi ekstrem yang menandakan adanya masalah besar. Stabilitas amplitudo getaran dan penurunan nilai RMS mengindikasikan bahwa perbaikan bearing dan alignment berhasil meningkatkan kondisi operasional generator. Meskipun hasil setelah perbaikan menunjukkan peningkatan signifikan, monitoring berkala tetap diperlukan untuk memastikan tidak ada perubahan atau peningkatan getaran yang dapat menunjukkan masalah baru. Secara keseluruhan, perbaikan bearing dan alignment pada generator telah memberikan dampak positif terhadap performa operasional, dengan hasil waveform yang menunjukkan stabilitas dan penurunan getaran yang signifikan. Langkah-langkah perbaikan yang dilakukan telah berhasil memperbaiki kondisi generator secara efektif, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi risiko kerusakan lebih lanjut.

Perbandingan Spektrum Vibrasi Sebelum dan Sesudah Perbaikan

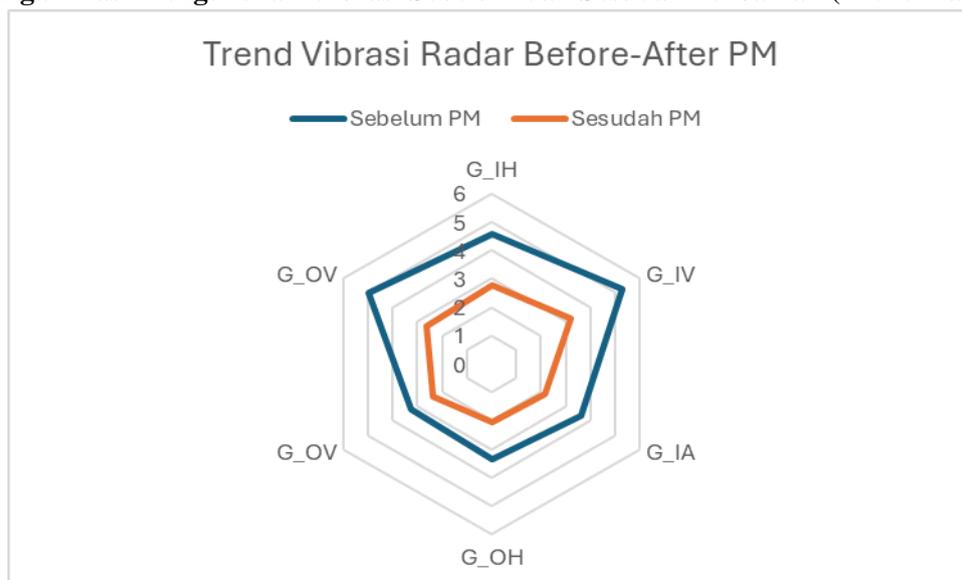


Sebelum Perbaikan



Setelah Perbaikan

Perbandingan Hasil Pengukuran Vibrasi Sebelum dan Sesudah Perbaikan (Trend Radar)



Gambar 12. Radar Vibrasi Before After PM

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran getaran pada mesin diesel Caterpillar 3606 di PLTD Tobelo, ditemukan bahwa getaran berlebihan dapat menyebabkan masalah signifikan. Pengukuran getaran menunjukkan bahwa titik-titik seperti G_IV (Inboard Vertical) dan G_OV (Outboard Vertical) memiliki nilai getaran tinggi yang mengindikasikan potensi masalah mekanis seperti ketidakseimbangan rotor atau komponen yang aus. Sebagai contoh, pada titik G_IV, nilai getaran berkisar antara 5.59 mm/s hingga 7.25 mm/s, yang menunjukkan adanya potensi masalah serius yang perlu segera diatasi. Selain itu, titik G_OV menunjukkan nilai getaran yang tinggi dengan rentang antara 3.41 mm/s hingga 7.16 mm/s, yang mengindikasikan variasi besar dan potensi ketidakstabilan operasi.

Setelah dilakukan perbaikan dan penggantian journal bearing dan alignment pada generator, hasil analisis spektrum vibrasi menunjukkan penurunan signifikan pada amplitudo getaran, terutama pada frekuensi dominan. Nilai getaran keseluruhan (OVR) tercatat sebesar 0.8193 mm/s setelah perbaikan, yang berada dalam batas aman dan menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan oleh generator berada dalam level yang dapat diterima. Penurunan ini mencerminkan peningkatan stabilitas dan performa operasional generator, mengurangi risiko kegagalan dan kerusakan lebih lanjut. Hasil analisis waveform juga menunjukkan pola getaran yang lebih stabil setelah perbaikan, dengan amplitudo puncak-ke-puncak (Vpp) sebesar 3.86 mm/s dan nilai RMS sebesar 0.68 mm/s, yang berada dalam batas aman.

Implementasi pemeliharaan prediktif melalui analisis vibrasi terbukti efektif dalam mendeteksi dan mencegah potensi masalah sebelum terjadi kegagalan serius. Monitoring rutin terhadap frekuensi dominan dan amplitudo getaran memungkinkan identifikasi dini terhadap masalah yang berkembang. Sebagai contoh, data vibrasi pada cylinder head menunjukkan variasi nilai getaran yang signifikan pada beberapa silinder, seperti pada silinder 2 dan 3 yang menunjukkan nilai getaran tinggi pada beberapa titik pengukuran. Pemeliharaan prediktif memungkinkan identifikasi dini terhadap masalah ini, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Penerapan pemeliharaan prediktif dan langkah-langkah perbaikan yang tepat telah berhasil meningkatkan kinerja operasional mesin diesel di PLTD Tobelo. Penurunan signifikan pada nilai getaran keseluruhan dan stabilitas yang tercapai menunjukkan peningkatan efisiensi dan keandalan operasional mesin. Dengan pemantauan yang cermat dan perbaikan yang tepat waktu, PLTD Tobelo dapat mengurangi risiko kegagalan mesin dan memastikan operasional yang lebih stabil dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhtulov, Alexey, and Ludmila Ivanova. 2020. "Vibration Analysis as an Auxiliary Tool for Monitoring the Safety and Viability of Production Equipment in Mechanical Engineering." P. 52084 in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 971. IOP Publishing.
- Eremeev, Anatolii, Aleksandr Morozov, and Dmitry Kotkov. 2020. "Efficiency Improvement of Technical Condition Assessment of Plunger Pairs of Diesel Fuel Equipment." P. 1018 in *MATEC Web of Conferences*. Vol. 329. EDP Sciences.
- Glushchenko, Valery Vladimirovich. 2021. "Methodology For Evaluating The Effectiveness Of Machine And Equipment Maintenance Systems."
- Júnior, José Lima, Ricardo Rodrigues Magalhaes, Danton Diego Ferreira, and Paulo Henrique Cruz Pereira. 2020. "Vibration Level Evaluation Of Engines Fueled With Brazilian Commercial Diesel And Biodiesel." *Theoretical And Applied Engineering* 4(3):1–11.
- Khadarsab, A., and S. Shivakumar. 2018. "Vibration Analysis Techniques for Rotating Machinery and Its Effect on Bearing Faults." *Procedia Manufacturing* 20:247–52.
- Legawa, K. S. N., K. B. Artana, and E. Pratiwi. 2020. "Economic Analysis of LNG Distribution for Power Plant and City Gas in Bali." P. 12044 in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 557. IOP Publishing.
- Reksono, Matsaid Budi, and I. Made Miasa. 2019. "Vibration Analysis for Reducing Excessive Vibration Level on Gas Turbine Generator (GTG) 100 MW in Cogeneration Power Plant." P. 12083 in *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1351. IOP Publishing.
- Rismawan, Heri, and Muktamar Cholifah Aisiyah. 2023. "Menentukan Nilai Periode, Amplitudo, Frekuensi Dan Memvisualisasi Getaran Harmonik Pada Pegas Dalam Bentuk Gelombang." *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya* 8(1):25–29.
- Sani, M. S. M., Rizalman Mamat, Fitri Khoerunnisa, A. R. Rajkumar, N. F. D. Razak, and R. E. Sardjono. 2018. "Vibration Analysis of the Engine Using Biofuel Blends: A Review." P. 1010 in *MATEC Web of Conferences*. Vol. 225. EDP Sciences.
- Santoso, Kurnianto Joko. 2019. "Analisis Misalignment Dengan Vibration Trend Analysis." *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana* 8(3):82–92.
- Suryadi, Dedi, Rifki Meilianda, Ahmad Fauzan Suryono, and Munadi Munadi. 2018. "Sistem Pakar Untuk Mengidentifikasi Kerusakan Mesin Industri Menggunakan Metode Certainty Factor." *ROTASI* 20(1):56–62.
- Teng, Wei, Xian Ding, Shiyao Tang, Jin Xu, Bingshuai Shi, and Yibing Liu. 2021. "Vibration Analysis for Fault Detection of Wind Turbine Drivetrains—a Comprehensive Investigation." *Sensors* 21(5):1686.
- Tharanga, K. L. P., Shuyong Liu, Shuai Zhang, and Yuan Wang. 2020. "Diesel Engine Fault Diagnosis with Vibration Signal." *Journal of Applied Mathematics and Physics* 8(9):2031–42.
- Vilchez, K., E. Perez, C. Coaquira, J. Hernandez, and J. Carmona. 2021. "Development of a Thermographic Vibratory Test Bench for Predictive Maintenance in Asynchronous Motors." P. 12005 in *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1877. IOP Publishing.
- Widodo, I. G., A. Khoryanton, and A. Pramono. 2021. "Analysis of Vibration Due to Misalignment in the Clutch Cluster Installation of Centrifugal Pump." P. 12037 in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1108. IOP Publishing.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)