



Analisis Frekuensi Getaran dan Diagnosis Kegagalan pada Kompresor Udara Ulir Ganda Berdasarkan Standar ISO 10816-3

Juliyanda Cendrika Zahrawan^{1*}, Muhammad Alwan Ramadhan Herma²,
Diki Ismail Permana³, Ahmad Taufik Joenoes⁴, Dani Rusirawan⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional, Indonesia

Email: juliyanda.cendrika@mhs.itenas.ac.id¹, muhammad.alwan@mhs.itenas.ac.id²,

permana.diki.ismail@phd.uni-mate.hu³, danir@itenas.ac.id⁵

*Penulis Korespondensi: juliyanda.cendrika@mhs.itenas.ac.id

Abstract. A twin screw air compressor is an important industrial machine whose performance is strongly influenced by its mechanical condition during operation. One of the main parameters used to evaluate machine condition and health is vibration. Excessive vibration may indicate mechanical faults such as mass imbalance, mechanical looseness, and abnormal rotor lobe interaction. This study aims to analyze the vibration characteristics of a twin screw air compressor during operation and to identify fault indications based on frequency spectrum analysis. Vibration measurements were carried out using an Emerson CSI 2130 Machinery Health Analyzer with tri-axial accelerometers at several measurement points on the compressor and electric motor. Time-domain vibration data were processed using the Fast fourier transform (FFT) method to obtain frequency spectra, which were then analyzed based on fundamental frequencies, harmonics, and Lobe mesh frequency (LMF). The vibration amplitude results were compared with ISO 10816- 3 standard to evaluate machine condition. The analysis results show dominant frequencies at $0.5 \times \text{RPM}$ and $1 \times \text{RPM}$ indicating mechanical looseness and mass imbalance, as well as the appearance of a frequency around 253 Hz and its harmonics identified as lobe mesh frequency. Evaluation based on ISO 10816-3 indicates that the machine vibration condition ranges from acceptable to dangerous zones at certain measurement points. This study can be used as a basis for machine condition assessment and maintenance recommendations.

Keywords: Air Compressor; Fault Diagnosis; ISO 10816-3; Twin-Screw; Vibration Frequency.

Abstrak. Kompresor udara ulir ganda merupakan peralatan industri yang kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kondisi mekanis selama pengoperasian. Salah satu parameter utama untuk menilai kondisi dan kesehatan mesin adalah getaran. Getaran berlebih dapat mengindikasikan adanya gangguan mekanis seperti ketidakseimbangan massa (*unbalance*), kelonggaran mekanis (*looseness*), serta interaksi lobus rotor yang tidak normal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik getaran pada kompresor udara ulir ganda selama operasi serta mengidentifikasi indikasi mode kegagalan berdasarkan spektrum frekuensi. Pengukuran getaran dilakukan menggunakan Emerson CSI 2130 Machinery Health Analyzer dengan sensor akselerometer triaksial pada beberapa titik pengukuran di kompresor dan motor listrik. Data getaran pada domain waktu diolah menggunakan metode Fast fourier transform (FFT) untuk memperoleh spektrum frekuensi, kemudian dianalisis berdasarkan frekuensi fundamental, harmonik, serta Lobe mesh frequency (LMF). Hasil pengukuran amplitudo getaran dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk mengevaluasi kondisi mesin. Hasil analisis menunjukkan adanya frekuensi dominan $0,5 \times \text{RPM}$ dan $1 \times \text{RPM}$ yang mengindikasikan *mechanical looseness* dan *mass imbalance*, serta kemunculan frekuensi sekitar 253 Hz beserta harmoniknya sebagai *lobe mesh frequency*. Evaluasi ISO 10816-3 menunjukkan kondisi mesin berada pada beberapa zona, dari aman hingga bahaya pada titik tertentu. Penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan kondisi mesin dan rekomendasi perawatan.

Kata Kunci: Diagnosis Kegagalan; Frekuensi Getaran; ISO 10816-3; Kompresor Udara; Ulir Ganda.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi industri mendorong kebutuhan akan mesin yang andal, efisien, serta memiliki tingkat keandalan tinggi dalam mendukung proses produksi. Salah satu peralatan yang banyak digunakan adalah mesin kompresor udara, yang berfungsi untuk menyediakan udara bertekanan sebagai sumber energi pada sistem pneumatik. Sistem

pneumatik dipilih karena mampu memberikan kecepatan respon tinggi, perawatan yang relatif mudah, serta lebih aman dibandingkan sistem hidrolik maupun listrik (Sangian et al., 2020).

Secara umum, kompresor bekerja sebagai mesin pemampat udara atau gas. Proses kerja umumnya dilakukan dengan menghisap udara dari *atmosfer*, meskipun terdapat jenis yang menyedot gas dengan tekanan lebih tinggi dari *atmosfer* dan berfungsi sebagai penguat (*booster*). Sementara itu, jika gas yang dihisap memiliki tekanan lebih rendah dari *atmosfer*, kompresor disebut pompa vakum (Sularso & Tahara, 2003).

Kompresor udara ulir ganda adalah bagaian dari mesin perpindahan positif yang menghasilkan kompresi dengan menggunakan sepasang rotor saling bertaut dalam sebuah casing, bukan dengan piston. Pada kompresor sekrup ganda, setiap rotor terdiri dari lobus heliks yang dipasang pada poros. Rotor tersebut dikenal sebagai rotor jantan dan rotor betina (Reddy, 2007).

Dari berbagai jenis kompresor yang ada, kompresor udara ulir ganda menjadi salah satu pilihan utama di industri (Wang et al., 2022). Kompresor ini bekerja berdasarkan prinsip perpindahan positif dengan menggunakan dua rotor heliks sejajar rotor jantan (*male*) dan rotor betina (*female*) yang saling mengait dan membentuk ruang kompresi. Perubahan volume ruang selama proses isap, kompresi, dan pembuangan menghasilkan udara bertekanan dengan efisiensi yang tinggi, tingkat kebisingan rendah, serta kapasitas operasi yang besar (Wu et al., 2021). Namun, kinerja kompresor udara ulir ganda sangat dipengaruhi oleh kondisi mekanis dan operasional mesin. Salah satu indikator penting untuk menilai kondisi tersebut adalah getaran (*vibrasi*). Getaran didefinisikan sebagai gerakan periodik bolak-balik dari suatu benda terhadap posisi diamnya. Pada mesin berputar, getaran muncul akibat faktor-faktor seperti ketidakseimbangan (*unbalance*), ketidaksejajaran (*misalignment*), kelonggaran mekanis (*looseness*), serta kerusakan bantalan (*Bearing defect*). Tingkat getaran yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan efisiensi, kerusakan komponen, hingga kegagalan sistem secara keseluruhan (Girdhar & Scheffer, 2004).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis getaran kompresor udara ulir ganda dan diagnosis kegagalan pada kompresor udara ulir ganda berdasarkan Standar ISO 10816-3. Kajian dilakukan untuk memahami karakteristik getaran yang muncul, mengidentifikasi faktor penyebab utamanya, serta memberikan rekomendasi perawatan yang tepat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi operasi dan memperpanjang umur pakai mesin.

2. KAJIAN TEORITIS

Getaran atau yang biasa disebut dengan *vibrasi* adalah gerakan periodik bolak balik dari mesin atau komponen mesin dari titik diamnya (posisi netral) menuju titik maksimum (*Upper limit*) dan titik minimum (*Lower limit*). Getaran atau *Vibrasi* merupakan respon dari suatu system terhadap gaya yang diterima oleh mesin, baik dari dalam maupun dari luar sistem. Getaran suatu sistem melibatkan perpindahan energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik menjadi energi potensial secara bergantian. Jika sistem teredam, sebagian energi akan hilang pada setiap siklus getaran dan harus digantikan oleh sumber eksternal agar keadaan getaran tetap stabil (Rao, 2011).

Analisis getaran menjadi salah satu metode diagnostik yang banyak digunakan karena dapat memberikan rekomendasi tindakan perawatan berdasarkan hasil analisis getaran. Melalui analisis getaran, potensi kerusakan dapat diidentifikasi lebih awal sebelum menyebabkan waktu henti (*downtime*) yang tidak terjadwal. Hal ini memungkinkan industri untuk melakukan tindakan perawatan secara tepat waktu, sehingga meningkatkan keandalan peralatan sekaligus mengurangi biaya operasional (Setyawan, 2013).

Unbalance adalah suatu kondisi dimana pusat massa rotor tidak berimpit dengan pusat massa poros, sehingga ketika elemen ini berputar akan menimbulkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal meng-eksitasi sistem selama sistem berputar, sehingga menimbulkan getaran. *Unbalance* bisa disebabkan oleh penyebaran massa rotor yang tidak merata atau pemasangan poros yang tidak tepat pada pusatnya.

Fenomena kegagalan ini sering terjadi pada mesin-mesin berputar, yang merupakan salah satu penyebab utama terjadinya getaran. Analisis sinyal getaran untuk gejala *unbalance* dapat dengan mudah diamati pada domain frekuensinya, yaitu biasanya ciri getarannya ditandai dengan adanya frekuensi dominan pada 1x rpm. Rpm adalah tingkatan/modus frekuensi yang terjadi pada jumlah putaran/menit, dan biasanya didapat dari benda/mesin yang berputar (Huda et al., 2015).

Ketidakseimbangan elemen berputar ditemui setiap hari. Fenomena ini terjadi tidak hanya pada rotor mesin listrik tetapi juga berlaku pada poros, kopling, roda mobil, atau selama distribusi cucian yang tidak merata di mesin cuci. Ketidakseimbangan terjadi ketika rotor dengan distribusi massa yang tidak merata relatif terhadap sumbu rotasi diputar. Ketika ketidakseimbangan terjadi, gaya dan momen sentrifugal yang tidak seimbang bekerja pada bantalan, yang menyebabkan peningkatan tingkat getaran mekanis dan kebisingan (AbdulBary et al., 2021).

Misalignment adalah suatu kondisi pada sistem poros-kopling ketika dua sumbu poros yang terhubung tidak berada dalam satu garis sumbu. *Misalignment* merupakan penyebab utama terjadinya getaran selain dari *unbalance*. *Misalignment* dibagi menjadi dua jenis yaitu *misalignment* paralel dan sudut (*angular*), namun kebanyakan kasus yang terjadi adalah gabungan dari keduanya. ciri getarannya dapat dilihat dari frekuensi domain pada pada 1x rpm, 2x rpm bahkan pada 3x rpm (Huda et al., 2015).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam analisis ini adalah menggunakan *Emerson CSI 2130*, yaitu alat yang digunakan untuk melakukan analisis getaran, kemudian data *time domain* dari *emerson CSI 2130* dikonversi menjadi spektrum frekuensi menggunakan *fast fourier transform* (FFT), yaitu dengan mengubah sinyal getaran dari domain waktu ke domain frekuensi.

Hasil berupa grafik pada domain frekuensi kemudian dibandingkan dengan grafik parameter-parameter kerusakan. Hasil transformasi ini selanjutnya dianalisis dan dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk melihat tingkat kerusakan komponen dan memberikan rekomendasi tindakan perawatan (*maintenance*) yang diperlukan.

Objek penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kompresor udara tipe pendingin udara, terendam oil, ulir ganda dengan model Sullair/3710 AC dapat dilihat pada Gambar 3.4. kompresor udara sullair 3710 AC merupakan kompresor ulir ganda berpendingin udara dan terendam oli, digerakkan oleh motor listrik 50 HP dengan kecepatan 1475 RPM. Kompresor ini memiliki efisiensi tinggi, serta dirancang untuk tekanan hingga 175 PSIG dan suhu 150°F. Struktur utamanya berbahan cast iron dan forged steel, dengan sistem *Bearing* tipe *anti friction* dan *tapered roller*, menjadikannya tangguh untuk aplikasi industri. Spesifikasi dari air compressor sullair 3710 AC dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Kompresor udara Sullair 3710.

Spesifikasi Air Compressir		Spesifikasi Motor	
Tag no :	1821-c-6001a	Type :	Electric motor, tefc
Manufacturers :	Sullair	Speed :	1475 rpm
Model/type :	Ws 3710ac / oil lubricated	Drive (coupling/belt/gear) :	Coupling
Rated capacity :	300nm3 / hr	Nominal power :	50 hp
Maximum pressure :	1475 psi		
Total power :	37 kw		

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

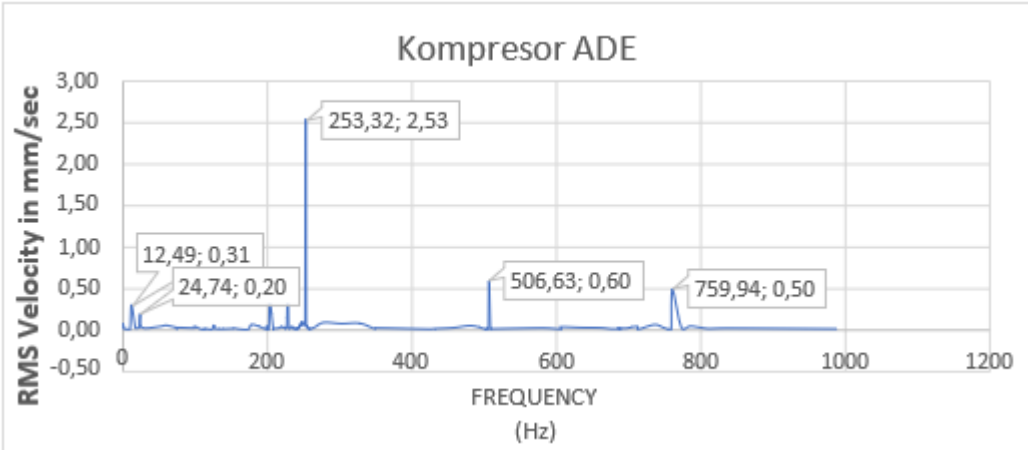
Data yang diperoleh merupakan *Spectral Peak Data*, yaitu hasil ekstraksi puncak dari spektrum frekuensi (FFT) yang dihasilkan oleh alat Emerson CSI 2130. *Spektral peak data* pengukuran getaran dengan letak sensor pada kompresor sisi *drive end* dengan arah *axial* dapat dilihat pada Gambar 1.

LIST OF SPECTRAL PEAKS *****							
Equipment: ()							
Meas. Point: Equipment1-A1 -->							
Date/Time: 16-Sep-25 16:46:09		RPM= 1475		Units=In/Sec PK			
PEAK NO.	FREQUENCY (Hz)	PEAK VALUE	ORDER VALUE	PEAK NO.	FREQUENCY (Hz)	PEAK VALUE	ORDER VALUE
1	.99	.0034	.994	76	247.25	.0039	247.255
2	1.46	.0023	1.463	77	247.58	.0034	247.583
3	1.80	.0016	1.802	78	248.02	.0039	248.022
4	2.43	.0010	2.429	79	248.38	.0040	248.384
5	8.85	.0007	8.848	80	248.99	.0030	248.994
6	10.83	.0012	10.831	81	249.92	.0035	249.923
7	12.49	.0122	12.489	82	250.51	.0038	250.506
8	17.67	.0017	17.669	83	250.71	.0032	250.714
9	19.60	.0012	19.601	84	251.35	.0028	251.351
10	23.32	.0022	23.325	85	251.81	.0034	251.806
11	24.74	.0080	24.739	86	252.43	.0030	252.427
12	26.51	.0016	26.511	87	253.32	.0098	253.320
13	49.47	.0019	49.474	88	254.00	.0041	254.000
14	63.33	.0027	63.330	89	254.65	.0018	254.651
15	74.19	.0014	74.190	90	255.22	.0024	255.219
16	74.95	.0009	74.946	91	256.18	.0015	256.177
17	76.00	.0015	75.997	92	256.63	.0015	256.628
18	98.95	.0013	98.955	93	257.26	.0009	257.264
19	99.92	.0020	99.916	94	257.74	.0010	257.743
20	109.16	.0007	109.163	95	258.53	.0010	258.535
21	112.45	.0009	112.449	96	259.34	.0010	259.339
22	112.74	.0007	112.744	97	265.81	.0017	265.808
23	113.97	.0008	113.970	98	278.06	.0039	278.055
24	115.85	.0009	115.854	99	302.79	.0034	302.790
25	116.02	.0008	116.017	100	327.54	.0036	327.538

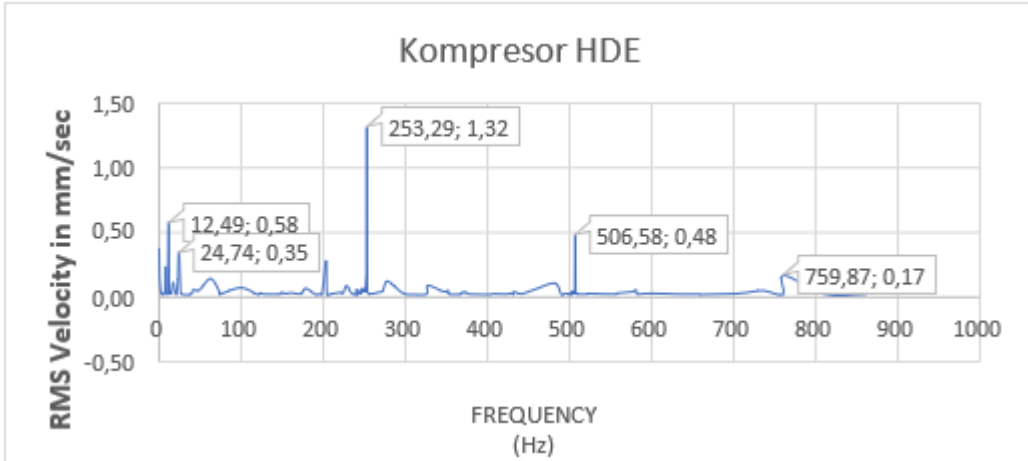
Gambar 1. *Spectral Peak Dat.*

Analisis karakteristik Frekuensi Kompresor

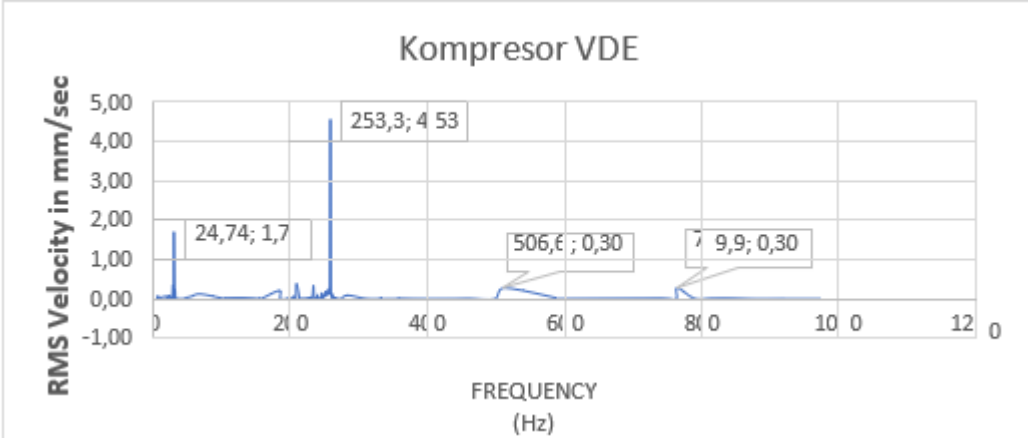
Berdasarkan Gambar 2 hingga Gambar 4, ditampilkan spektrum frekuensi getaran kompresor yang diukur pada titik beberapa titik yaitu, *axial drive end*, *horizontal drive end*, dan *vertical drive end* menggunakan sensor *accelerometer triaxial*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada ketiga arah pengukuran tersebut muncul beberapa puncak frekuensi dominan yang relatif serupa.



Gambar 2. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi Kompresor *Axial Drive End*.



Gambar 3. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi Kompresor *Horizontal Drive End*.



Gambar 4. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi Kompresor *Vertical Drive End*.

Pada kompresor ADE, terdapat beberapa puncak yang terindikasi kegagalan yang dimana indikasi pertama terjadi pada puncak frekuensi 12,49 Hz dan 24,74 Hz dengan nilai RMS 0,31 mm/sec dan 0,20 mm/sec. Indikasi kedua terdapat pada puncak 253,32 Hz dengan nilai RMS 2,53 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,60 mm/sec dan 0,50 mm/sec yang berada pada frekuensi 506,63 Hz dan 759,94 Hz.

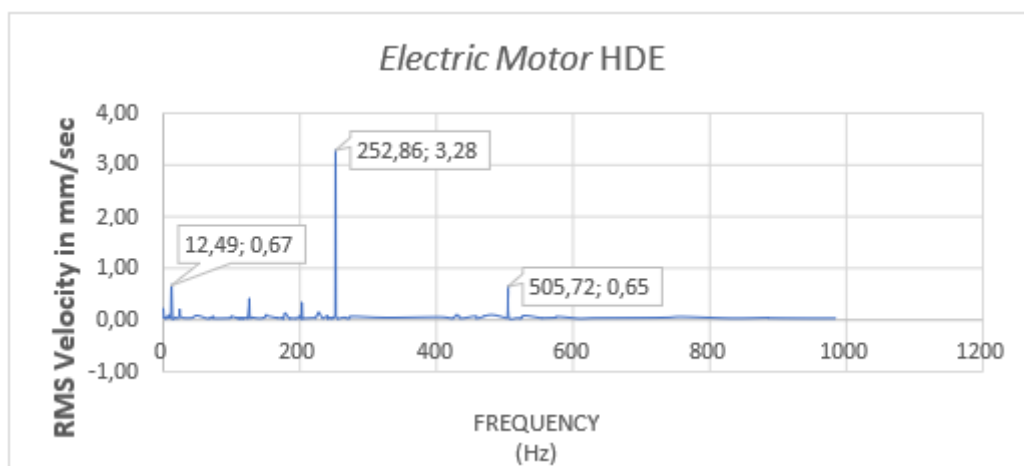
Selanjutnya pada kompresor HDE, indikasi pertama terjadi pada puncak frekuensi 12,49 Hz dan 24,74 Hz dengan nilai RMS 0,58 mm/sec dan 0,35 mm/sec. Indikasi kedua terjadi pada frekuensi 253,29 Hz dengan nilai RMS 1,32 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,48 mm/sec dan 0,17 mm/sec yang berada pada frekuensi 506,58 Hz dan 759,87 Hz.

Sedangkan pada kompresor VDE indikasi pertama terjadi pada frekuensi 24,74 Hz dengan nilai RMS 1,70 mm/sec. Indikasi kedua terjadi pada frekuensi 253,3 Hz dengan nilai RMS 4,53 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,30 mm/sec dan 0,30 mm/sec yang terjadi pada frekuensi 506,6 Hz dan 759,9 Hz.

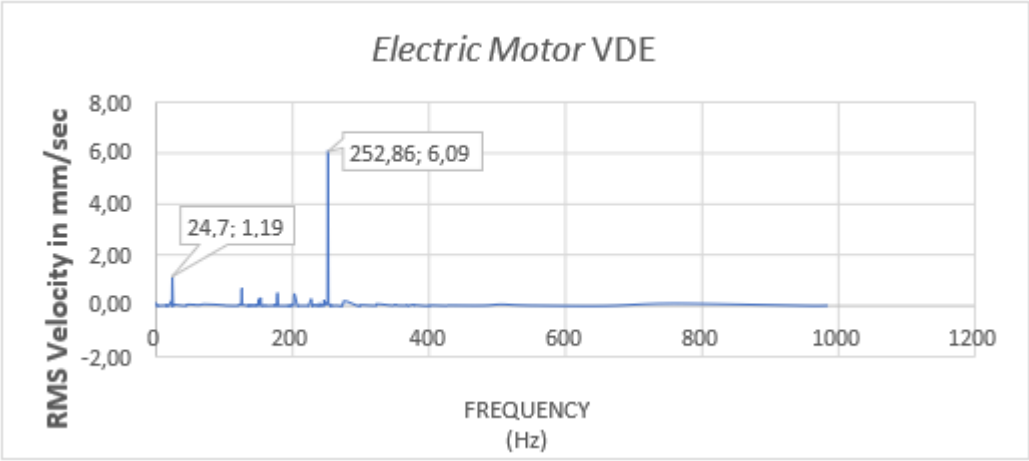
Secara keseluruhan, kemunculan frekuensi dominan di sekitar 253 Hz beserta harmoniknya pada kisaran 506 Hz dan 759 Hz pada ketiga arah pengukuran menunjukkan adanya pola getaran periodik yang konsisten. Pola ini selanjutnya menjadi dasar dalam analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi jenis dan sumber indikasi kegagalan yang terjadi pada kompresor.

Analisis Karakteristik Frekuensi *Electric Motor*

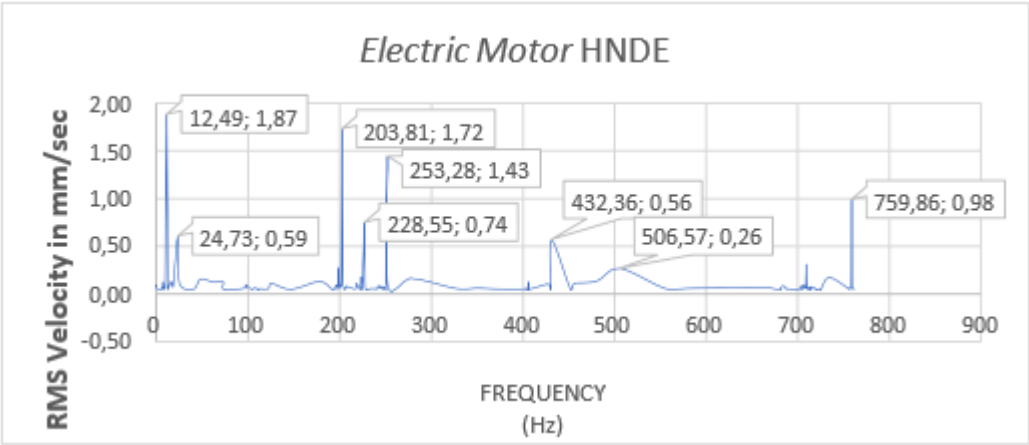
Berdasarkan Gambar 5 hingga Gambar 8, ditampilkan spektrum frekuensi getaran *electric motor* yang diukur pada beberapa titik pengukuran menggunakan sensor accelerometer *triaxial*, ditampilkan respons getaran pada titik *horizontal drive end*, *vertical drive end*, *horizontal non drive end*, dan *vertical non drive end*.



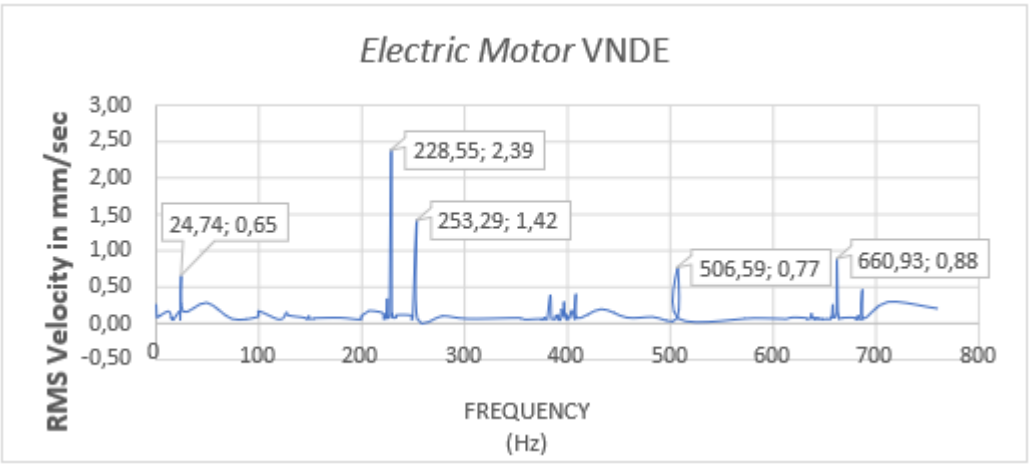
Gambar 5. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi *Electric Motor Horizontal Drive End*.



Gambar 6. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi *Electric Motor Vertical Drive End*.



Gambar 7. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi *Electric Motor Horizontal Non Drive End*.



Gambar 8. Grafik Analisis Karakteristik Frekuensi *Electric Motor Vertical Non Drive End*.

Pada *electric motor* HDE, terdapat beberapa puncak yang terindikasi kegagalan yang dimana indikasi pertama terjadi pada puncak frekuensi 12,49 Hz dengan nilai RMS 0,67 mm/sec. Indikasi kedua terdapat pada puncak 252,86 Hz dengan nilai RMS 3,28 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,65 mm/sec yang berada pada frekuensi 505,72 Hz.

Selanjutnya pada *electric motor* VDE, terdapat beberapa puncak yang terindikasi kegagalan yang dimana indikasi pertama terjadi pada puncak frekuensi 24,7 Hz dengan nilai RMS 1,19 mm/sec. Indikasi kedua terdapat pada puncak 252,86 Hz dengan nilai RMS 6,09 mm/sec.

Sedangkan pada *electric motor* HNDE indikasi pertama terjadi pada frekuensi 12,49 Hz dan 24,73 Hz dengan nilai RMS 1,87 mm/sec dan 0,59 mm/sec. Indikasi kedua terjadi pada frekuensi 253,28 Hz dengan nilai RMS 1,43 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,26 mm/sec dan 0,98 mm/sec yang terjadi pada frekuensi 506,57 Hz dan 759,86 Hz.

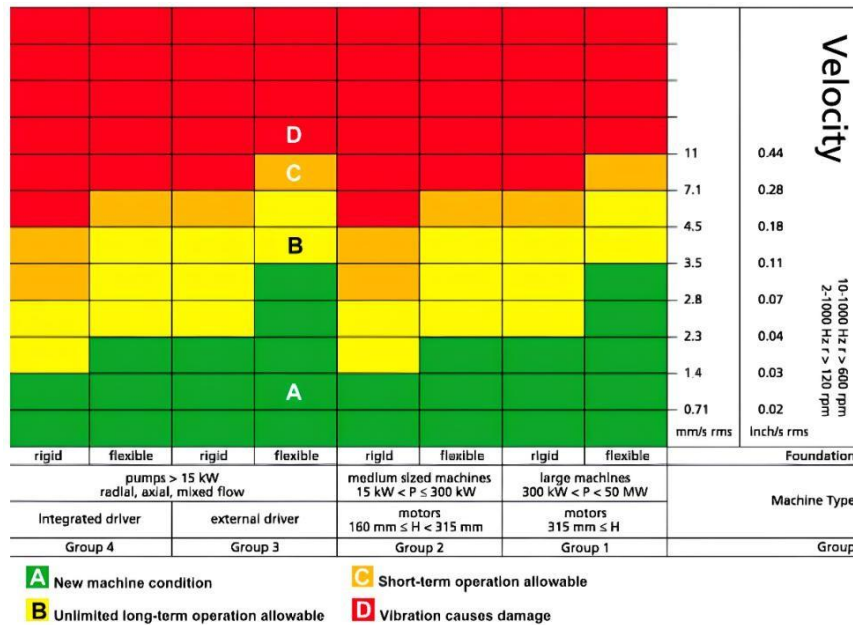
Dan yang terakhir, pada *electric motor* VNDE, indikasi pertama terjadi pada frekuensi pada 24,74 Hz dengan nilai RMS 0,65 mm/sec. Indikasi kedua terjadi pada frekuensi 253,29 Hz dengan nilai RMS 1,42 mm/sec, di ikuti dengan nilai RMS 0,77 mm/sec yang terjadi pada frekuensi 506,59 Hz.

Secara keseluruhan, kemunculan frekuensi dominan dan harmoniknya pada berbagai titik pengukuran *electric motor* menunjukkan adanya pola getaran periodik yang konsisten. Pola ini selanjutnya menjadi dasar untuk analisis lanjutan dalam mengidentifikasi sumber getaran dan kemungkinan indikasi gangguan pada *electric motor*.

Pengolahan Data

Data yang sudah diperoleh akan diolah lebih lanjut menjadi data yang dapat dijadikan sebagai acuan menentukan kegagalan pada kompresor udara ulir ganda. Data tersebut akan dibandingkan dengan standar dan parameter yang digunakan.

Nilai frekuensi maksimum akan dibandingkan dengan standar ISO 10816-3 untuk percepatan (*acceleration*) dan dilihat apakah nilai frekuensi maksimum dari tiap data sensor yang didapat dalam kondisi aman atau memerlukan perbaikan.



Gambar 9. Standar ISO 10816-3 (*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration*).

Pada Gambar dapat dilihat bahwa evaluasi kondisi getaran mesin pada penelitian ini dilakukan berdasarkan standar ISO 10816-3 dengan menggunakan parameter kecepatan getaran (*velocity RMS*) sebagai indikator utama. Klasifikasi tingkat kondisi mesin ditentukan berdasarkan pembagian zona A, B, C, dan D yang mengacu pada diagram evaluasi getaran ISO 10816- 3.

Berdasarkan ketentuan dalam standar tersebut, kompresor udara ulir ganda yang digunakan sebagai objek penelitian ini, dengan daya terpasang sebesar 37 kW, diklasifikasikan ke dalam Group 2 (*Medium Sized Machines*, $15 \text{ kW} < P \leq 300 \text{ kW}$) (Lee et al., 2024). Dengan demikian, hasil pengukuran kecepatan getaran yang diperoleh dianalisis dengan cara membandingkannya terhadap batasan zona A–D pada Group 2, untuk menentukan tingkat kelayakan operasi serta kondisi aktual mesin.

Hasil Pengolahan Data Kompresor

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Kompresor *Axial Drive End*.

Kompresor Axial Drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-CO-ADE	253.32	2.53 mm/sec	B
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Looseness	12.49 & 24.74	12.29 & 24.58	Ada
Lobe Mesh Frequency	253.32, 506.63, 759.94	253.32, 506.63, 759.94	Ada

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data Kompresor *Horizontal drive End*.

Kompresor Horizontal drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-CO-HDE	253.29	1.32 mm/sec	A
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Looseness	12.49 & 24.74	12.29 & 24.58	Ada
Lobe Mesh Frequency	253.29, 506.58, 759.87	253.29, 506.58, 759.87	Ada

Tabel 4. Hasil Pengolahan Data Kompresor *Vertical drive End*.

Kompresor Vertical drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-CO-VDE	253,3	4.53 mm/sec	D
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Unbalance	24.74	24.58	Ada
Looseness	12.49 & 24.74	12.29 & 24.58	Tidak Ada
Lobe Mesh Frequency	253.3, 506.6, 759.9	253.3, 506.6, 759.9	Ada

Berdasarkan hasil pengolahan data getaran pada kompresor dengan kecepatan putar mesin sebesar 1475 RPM, diperoleh frekuensi fundamental ($1 \times \text{RPM}$) sebesar 24,58 Hz. Hasil pengolahan data tersebut disajikan pada Tabel 2 hingga Tabel 4, yang masing-masing merepresentasikan arah pengukuran *axial drive end*, *horizontal drive end*, dan *vertical drive end*.

Pada arah *axial drive end*, berdasarkan Tabel 2, nilai kecepatan getaran berada pada zona kuning atau *Unlimited Long-Term Operation Allowable (Pre-Warning)* sesuai dengan standar evaluasi getaran. Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin masih dapat beroperasi dalam jangka waktu yang relatif lama, namun diperlukan perhatian lebih lanjut serta memberikan rekomendasi tindakan perawatan berdasarkan hasil analisis getaran (Delprete & Gastaldi, 2025). Dari hasil perbandingan nilai frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $0,5 \times \text{RPM}$ dan $1 \times \text{RPM}$, yaitu pada 12,49 Hz dan 24,74 Hz, yang mengindikasikan adanya *mechanical looseness*. Selain itu, kemunculan frekuensi pada 253,32 Hz, 506,63 Hz, dan 759,94 Hz menunjukkan adanya indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)* pada kompresor.

Selanjutnya, pada arah *horizontal drive end*, hasil pengolahan data yang disajikan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa nilai kecepatan getaran berada pada zona hijau atau *New Machine Condition (Good)*. Kondisi ini menandakan bahwa mesin beroperasi dalam kondisi optimal tanpa adanya masalah signifikan. Meskipun demikian, dari hasil analisis frekuensi tetap teramati kemunculan frekuensi $0,5 \times \text{RPM}$ dan $1 \times \text{RPM}$ pada 12,49 Hz dan 24,74 Hz, yang mengindikasikan adanya *mechanical looseness* (Li et al., 2022). Selain itu, kemunculan frekuensi 253,29 Hz, 506,58 Hz, dan 759,87 Hz kembali menunjukkan indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)* yang konsisten dengan arah pengukuran lainnya.

Sementara itu, pada arah *vertical drive end*, berdasarkan Tabel 4, nilai kecepatan getaran berada pada zona merah atau *Vibration Causes Damage (Alarm)*. Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin berada pada kondisi yang berpotensi menimbulkan kerusakan dan memerlukan tindakan perbaikan segera (Gopikuttan et al., 2022). Dari hasil perbandingan nilai frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $1 \times \text{RPM}$ pada 24,74 Hz, yang mengindikasikan adanya mass imbalance. Selain itu, kemunculan frekuensi 253,3 Hz, 506,6 Hz, dan 759,9 Hz kembali menunjukkan adanya indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)* pada kompresor.

Secara keseluruhan, hasil pengolahan data pada ketiga arah pengukuran menunjukkan kemunculan frekuensi fundamental, subharmonik, serta harmonik yang relatif konsisten. Kemunculan LMF pada seluruh arah pengukuran mengindikasikan bahwa mekanisme internal kompresor memberikan kontribusi signifikan terhadap respons getaran mesin dan menjadi dasar untuk analisis lanjutan dalam menentukan sumber dan tingkat keparahan gangguan yang terjadi (Zhang et al., 2022).

Hasil Pengolahan Data *Electric Motor*

Berdasarkan hasil pengolahan data getaran pada *electric motor* dengan kecepatan putar mesin sebesar 1475 RPM, diperoleh frekuensi fundamental ($1 \times \text{RPM}$) sebesar 24,58 Hz. Hasil pengolahan data tersebut disajikan pada Tabel 5 hingga Tabel 8, yang masing-masing merepresentasikan arah dan posisi pengukuran pada *horizontal drive end*, *vertical drive end*, *horizontal non drive end*, dan *vertical non drive end*.

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data *Electric Motor Horizontal Drive End*.

Electric Motor Horizontal Drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-EM-HDE	252.86	3.28 mm/sec	C
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Unbalance	24.74	24.58	Tidak ada
Looseness	12.49 & 24.71	12.29 & 24.58	Ada
Lobe Mesh Frequency	252.86 & 505.72	252.86 & 505.72	Ada

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data *Electric Motor Vertical Drive End*.

Electric Motor Vertical Drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-EM-VDE	252.86	6.09 mm/sec	D
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Unbalance	24.7	24.58	Ada
Looseness	12.49 & 24.71	12.29 & 24.58	Tidak ada
Lobe Mesh Frequency	252.86	252.86	Ada

Tabel 7. Hasil Pengolahan Data *Electric Motor Horizontal Non Drive End*.

Electric Motor Horizontal Non Drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-EM-HNDE	12.49	1.87 mm/sec	B
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Unbalance	24.74	24.58	Tidak ada
Looseness	12.49 & 24.73	12.29 & 24.58	Ada
Lobe Mesh Frequency	253.28, 506.57, 759.86	253.28, 506.57, 759.86	Ada

Tabel 8. Hasil Pengolahan Data *Electric Motor Vertical Non Drive End*.

Electric Motor Vertical Non Drive End			
Code	Frequency Maximum (Hz)	Amplitudo (max) - RMS	Status
C6001A-EM-VNDE	228.55	2.39 mm/sec	B
Failure Type	Data Frequency (Hz)	Failure Calculation (Hz)	Indication Failure
Unbalance	24.74	24.58	Ada
Looseness	12.49 & 24.73	12.29 & 24.58	Tidak Ada
Lobe Mesh Frequency	253.29 & 506.59	253.29 & 506.59	Ada

Pada arah *horizontal drive end*, berdasarkan Tabel 5, nilai kecepatan getaran berada pada zona jingga atau Short-Term Operation Allowable (Warning). Kondisi ini menunjukkan bahwa electric motor masih dapat beroperasi dalam jangka waktu terbatas, namun terdapat indikasi permasalahan yang perlu segera ditindaklanjuti (Jaramillo et al., 2023). Dari hasil perbandingan nilai frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $0,5 \times$ RPM dan $1 \times$ RPM, yaitu pada 12,49 Hz dan 24,71 Hz, yang mengindikasikan adanya mechanical *looseness*. Selain itu, kemunculan frekuensi pada 252,86 Hz dan 505,72 Hz menunjukkan adanya indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)*.

Selanjutnya, pada arah *vertical drive end*, berdasarkan Tabel 6, nilai kecepatan getaran berada pada zona merah atau *Vibration Causes Damage (Alarm)*. Kondisi ini menandakan bahwa electric motor berada pada kondisi yang berpotensi menimbulkan kerusakan dan memerlukan tindakan perbaikan segera (Tiboni et al., 2022). Dari hasil analisis frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $1 \times$ RPM pada 24,7 Hz, yang mengindikasikan adanya mass imbalance. Selain itu, kemunculan frekuensi 252,86 Hz kembali menunjukkan adanya indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)*.

Pada arah *horizontal non drive end*, hasil pengolahan data yang disajikan pada Tabel 7, menunjukkan bahwa nilai kecepatan getaran berada pada zona kuning atau *Unlimited Long-Term Operation Allowable (Pre-Warning)*. Kondisi ini menunjukkan bahwa electric motor masih dapat beroperasi dalam jangka waktu relatif lama, namun tetap diperlukan pemeriksaan lanjutan serta memberikan rekomendasi tindakan perawatan berdasarkan hasil analisis getaran (Shukla et al., 2022). Dari hasil perbandingan nilai frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $0,5 \times \text{RPM}$ dan $1 \times \text{RPM}$ pada 12,49 Hz dan 24,73 Hz, yang mengindikasikan adanya *mechanical looseness*. Selain itu, kemunculan frekuensi 253,28 Hz, 506,57 Hz, dan 759,86 Hz menunjukkan indikasi *Lobe mesh frequency (LMF)* yang konsisten.

Sementara itu, pada arah *vertical non drive end*, berdasarkan Tabel 8, nilai kecepatan getaran berada pada zona kuning atau *Unlimited Long-Term Operation Allowable (Pre-Warning)*. Kondisi ini menunjukkan bahwa electric motor masih berada dalam batas operasi yang dapat diterima, namun memerlukan pemantauan secara berkala (Ewert et al., 2022). Dari hasil analisis frekuensi, teridentifikasi kemunculan frekuensi $1 \times \text{RPM}$ pada 24,74 Hz, yang mengindikasikan adanya *mass imbalance* (Mucchi et al., 2022). Selain itu, kemunculan frekuensi 253,29 Hz dan 506,59 Hz kembali menunjukkan adanya *indikasi Lobe mesh frequency (LMF)*.

Secara keseluruhan, hasil pengolahan data getaran electric motor pada keempat titik pengukuran menunjukkan adanya kemunculan frekuensi fundamental, subharmonik, serta harmonik yang relatif konsisten. Perbedaan zona evaluasi getaran pada masing-masing titik pengukuran menunjukkan variasi tingkat keparahan respons getaran, yang menjadi dasar dalam menentukan prioritas tindakan perawatan dan analisis lanjutan terhadap sumber gangguan pada electric motor.

Rekapitulasi *Diagnosis Failure mode*

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data getaran yang telah dibahas, diperoleh beberapa indikasi *failure mode* pada masing-masing titik pengukuran. Pada bagian ini dilakukan rekapitulasi *diagnosis failure mode* untuk menentukan kondisi dominan sistem secara keseluruhan.

Tabel 9. Rekapitulasi *Diagnosis Failure mode*.

Titik Pengukuran	Frekuensi Dominan	Indikasi <i>Failure mode</i>
CO-ADE	12.49Hz & 24.74Hz 253,32Hz, 506,63Hz, 759,94Hz	<i>Looseness</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
CO-HDE	12.49Hz & 24.74Hz 253.29Hz, 506.58Hz, 759.87Hz	<i>Looseness</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
CO-VDE	24.74Hz 253.3Hz, 506.6Hz, 759.9Hz	<i>Unbalance</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
EM-HDE	12.49Hz & 24.71Hz 252.86Hz & 505.72Hz	<i>Looseness</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
EM-VDE	24.7Hz 252.86Hz	<i>Unbalance</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
EM-HNDE	12.49Hz & 24.73Hz 253.28Hz, 506.57Hz, 759.86Hz	<i>Looseness</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>
EM-VNDE	24.74Hz 253.29Hz & 506.59Hz	<i>Unbalance</i> <i>Lobe Mesh Frequency</i>

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengukuran tingkat getaran menunjukkan nilai *amplitudo* tertinggi pada kompresor dan elektrik motor yaitu berada pada zona bahaya (Zone D) menurut standar ISO 10816-3, menunjukkan tingkat getaran yang berbahaya. Jika mesin tetap beroperasi pada tingkat ini, dapat menyebabkan kerusakan serius pada mesin. Berdasarkan karakteristik frekuensi yang teridentifikasi, *failure mode* dominan pada sistem adalah *Unbalance*, *Looseness* dan *Lobe mesh Frequency*.

Throubleshooting Failure mode

Berdasarkan *diagnosis failure mode* dominan pada uraian sebelumnya, pada bagian ini dilakukan penyusunan langkah-langkah *troubleshooting* untuk menentukan penyebab gangguan dan rekomendasi tindakan perbaikan yang sesuai guna meningkatkan keandalan operasi kompresor udara ulir ganda.

Tabel 10. *Throubleshooting Failure mode*.

<i>Failure mode</i>	Penyebab Umum	Tindakan <i>Throubleshooting</i>
<i>Unbalance</i>	Penumpukan kotoran pada rotor ulir kompresor dan keausan tidak merata.	Lakukan balancing rotor, bersihkan rotor ulir, periksa keausan rotor dan lakukan balancing jika perlu.
<i>Looseness</i>	Baut fondasi/ <i>anchor bolt</i> longgar.	Periksa dan kencangkan semua baut, ganti <i>Bearing</i> jika aus, gunakan <i>torquw wrench</i> .
<i>Lobe Mesh Frequency</i>	Keausan lobe rotor, <i>misalignment</i> antar rotor ulir, oli terkontaminasi atau kurang	Periksa alignment rotor, ganti oli dan inspeksi visual keausan rotor

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis getaran pada kompresor udara ulir ganda menunjukkan adanya frekuensi fundamental, harmonik putaran, dan lobe mesh frequency (LMF) yang merepresentasikan karakteristik operasional mesin. Hasil spektrum frekuensi mengindikasikan adanya gejala mechanical looseness dan mass imbalance yang ditandai oleh kemunculan frekuensi dominan pada $0,5 \times \text{RPM}$ dan $1 \times \text{RPM}$. Selain itu, teridentifikasi frekuensi LMF sekitar 253 Hz beserta harmoniknya, yang menunjukkan interaksi antar lobus rotor selama proses kompresi. Evaluasi berdasarkan ISO 10816-3 menunjukkan kondisi getaran mesin berada pada rentang zona aman hingga alarm, sehingga beberapa titik pengukuran memerlukan perhatian dan tindakan pemeliharaan lebih lanjut. Frekuensi tertentu yang tidak berkaitan dengan harmonik putaran rotor diduga berasal dari eksitasi elektromagnetik motor dan respons dinamis struktur. Berdasarkan hubungan antara frekuensi fundamental dan LMF, jumlah lobus rotor diperkirakan sekitar 10 lobus, meskipun masih memerlukan verifikasi melalui data teknis pabrikan.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data teknis pabrikan untuk meningkatkan akurasi identifikasi karakteristik dinamis kompresor, khususnya terkait jumlah lobus rotor dan parameter internal mesin. Selain itu, pengembangan analisis menuju pendekatan prognostik melalui estimasi *remaining useful life* (RUL) berbasis data getaran dapat dilakukan untuk mendukung strategi pemeliharaan prediktif.

DAFTAR REFERENSI

- AbdulBary, M., Embaby, A., & Gomaa, F. (2021). Fault Diagnosis in Rotating System Based on Vibration Analysis. *ERJ Engineering Research Journal*, 44, 285–294.
- Delprete, C., & Gastaldi, C. (2025). On the Effectiveness of Standards Application to Threshold Setting in Vibration Condition Monitoring in Industrial Machinery. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1177/09544089231218363>
- Ewert, P., Kowalski, C. T., & Jaworski, M. (2022). Comparison of the Effectiveness of Selected Vibration Signal Analysis Methods in the Rotor Unbalance Detection of PMSM Drive System. *Electronics*, 11(11), 1748. <https://doi.org/10.3390/electronics11111748>
- Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Newnes.
- Gopikuttan, L. L., Veetil, S. P., & Govindan, R. V. (2022). Maintenance Initiation Prediction Incorporating Vibrations and System Availability. *Advances in Technology Innovation*, 7(3), 181–194. <https://doi.org/10.46604/aiti.2022.8618>
- Huda, F., Dovani, M., Binawidya, K., Subrantas, J. H., & Baru, S. (2015). *Analisis Suara pada*

Rotordinamik Akibat Unbalance, Misalignment, dan Looseness.

- Jaramillo, D., Hoyos, F. E., Garcés, A., & Candelo-Becerra, J. E. (2023). Low-Cost Industrial IoT System for Wireless Monitoring of Electric Motors Condition. *Mobile Networks and Applications*, 28, 97–106. <https://doi.org/10.1007/s11036-022-02017-2>
- Lee, J., Lee, U., & Oh, J. (2024). Development of Algorithm for Vibration Analysis Automation of Rotating Equipments Based on ISO 20816. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 28(2), 93–104. <https://doi.org/10.7842/kigas.2024.28.2.93>
- Li, Z., Qiao, F., Lu, W., Liu, J., Wang, D., & Chu, F. (2022). Vibration Characteristics of Rotor System with Loose Disc Caused by the Insufficient Interference Force. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35, 70. <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00724-1>
- Mucchi, E., Dalpiaz, G., Rivola, A., & Rubini, R. (2022). Mechanical Rotor Unbalance Monitoring Based on System Identification and Signal Processing Approaches. *Journal of Sound and Vibration*, 541, 117313. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117313>
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations* (5th ed.). Prentice Hall.
- Reddy, G. C. (2007). *CFD Studies on Flow Through Screw Compressor*.
- Sangian, H., Rahman, D. A., Rudiwanto, R., Subekti, S., & Hamid, A. (2020). Analisis Getaran pada Screw Compressor Akibat Pengaruh Putaran Rotor. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(2), 267–275. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2020.011.02.13>
- Setyawan, D. B. (2013). Metode Vibration Analysis dalam Aplikasi Perawatan Mesin. *Jurnal Teknik Mesin*, 2.
- Shukla, K., Nefti-Meziani, S., & Davis, S. (2022). A Heuristic Approach on Predictive Maintenance Techniques: Limitations and Scope. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. <https://doi.org/10.1177/16878132221101009>
- Sularso, & Tahara, H. (2003). *Pompa dan Kompresor*. PT Pradnya Paramita.
- Tiboni, M., Remino, C., Bussola, R., & Amici, C. (2022). A Review on Vibration-Based Condition Monitoring of Rotating Machinery. *Applied Sciences*, 12(3), 972. <https://doi.org/10.3390/app12030972>
- Wang, C., Wang, B., Liu, M., & Xing, Z. (2022). A Review of Recent Research and Application Progress in Screw Machines. *Machines*, 10(1), 62. <https://doi.org/10.3390/machines10010062>
- Wu, H., Liu, J., Shen, Y., Liang, M., & Zhang, B. (2021). Research on Performance of Variable-Lead Rotor Twin Screw Compressor. *Energies*, 14(21), 6970. <https://doi.org/10.3390/en14216970>
- Zhang, R., Zhang, J., Song, Q., & Chen, G. (2022). Study on the Extraction Method of the Friction-Induced Vibration Signal of Rotary Compressors. *Journal of Vibroengineering*, 24(7), 1213–1225. <https://doi.org/10.21595/jve.2022.22407>