



Evaluasi Keandalan Struktural dan Margin Keselamatan Getaran Mekanis pada Generator Set Diesel 350 kVA

Sunu Arsy Pratomo^{1*}, Annisa Diansisti²

¹Program Studi Sarjana Teknik Keselamatan, Universitas Maritim AMNI, Indonesia

²Program Studi Sarjana Teknik Transportasi Laut, Universitas Maritim AMNI, Indonesia

Email: shoeyzero@gmail.com¹, anisadiansisti@unimar-amni.ac.id²

*Penulis Korespondensi: shoeyzero@gmail.com

Abstract. Mechanical vibration in diesel generator sets is a critical parameter that must be precisely evaluated to ensure reliability and prevent unexpected operational failures. This study aims to analyze the dynamic characteristics of structural vibration in a 350 kVA (1500 RPM) generator set based on the ISO 8528-9 international standard. The applied method was a quantitative observational approach under steady-state operational conditions. Data collection was conducted by directly measuring the Root Mean Square (RMS) velocity at eight main chassis mounting points in both horizontal and vertical orientations. The structural reliability level was then analytically calculated using the Danger Ratio and Margin of Safety percentage formulations. Field test results indicated that the highest vibration load distribution accumulated on the horizontal axis, with a peak amplitude surge reaching 14.6 mm/s at the front right quadrant of the alternator chassis. Based on mathematical calculations, this extreme point generated a danger ratio of 58.40%. Despite enduring the highest load, the mounting structure proved to be stable by maintaining a safety margin of 41.60%. Comprehensively, all sixteen validated amplitude measurements were well below the maximum operational tolerance limit of 25 mm/s. Therefore, it can be concluded that this generator set installation mechanically fulfills the technical feasibility requirements and is declared highly reliable for continuous operation.

Keywords: Danger Ratio; Generator Set; ISO 8528-9; RMS Velocity; Vibration Analysis.

Abstrak. Getaran mekanis pada generator set diesel merupakan parameter kritis yang wajib dievaluasi secara presisi guna menjamin keandalan dan mencegah kegagalan operasional mesin secara tak terduga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dinamika getaran struktural pada generator set berkapasitas 350 kVA (1500 RPM) berdasarkan baku mutu standar internasional ISO 8528-9. Metode yang diaplikasikan adalah observasional kuantitatif pada kondisi operasional tunak (steady state). Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur nilai kecepatan Root Mean Square (RMS) secara langsung pada delapan titik tumpuan sasis utama dari orientasi horizontal dan vertikal. Tingkat keandalan sasis kemudian dikalkulasi secara analitik menggunakan formulasi persentase tingkat bahaya (Danger Ratio) dan margin keselamatan (Margin of Safety). Hasil pengujian lapangan mengindikasikan bahwa sebaran beban getaran tertinggi terakumulasi pada sumbu horizontal, dengan lonjakan amplitudo puncak mencapai 14,6 mm/s di kuadran kanan depan sasis alternator. Berdasarkan kalkulasi matematis, titik ekstrem ini menghasilkan tingkat bahaya sebesar 58,40%. Meskipun menanggung beban tertinggi, struktur dukungan penyangga terbukti stabil karena mampu mempertahankan margin keselamatan sebesar 41,60%. Secara komprehensif, keenam belas data pengukuran amplitudo tervalidasi berada jauh di bawah batas toleransi maksimal operasional (25 mm/s). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa unit instalasi generator set ini secara mekanis memenuhi persyaratan kelayakan teknis dan dinyatakan sangat andal untuk beroperasi secara kontinu.

Kata Kunci: Analisis Getaran; Danger Ratio; Generator Set; ISO 8528-9; Kecepatan RMS.

1. LATAR BELAKANG

Set generator diesel adalah elemen penting dalam infrastruktur penyedia energi listrik, baik yang berfungsi secara terus-menerus sebagai sumber daya utama di daerah terpencil, atau yang digunakan sebagai sumber cadangan darurat di fasilitas pendidikan. Kinerja dan keandalan operasional *generator set* (genset) sangat dipengaruhi oleh interaksi mekanis antara mesin penggerak utama (mesin diesel) dan alternator (*generator*

sinkron). Keandalan operasional *generator set* diesel di fasilitas pendidikan juga bergantung pada efektivitas sistem pemeliharaan prediktif, yang secara proaktif memantau kesehatan mesin melalui analisis variabel getaran (Endrianto & Kusuma, 2025). Dalam proses konversi energi, gerakan kopling elektromekanis secara langsung mempengaruhi defleksi torsi pada sambungan antara mesin diesel dan generator sinkron. Gaya impulsif yang dihasilkan dari tekanan pembakaran tersebut berkontribusi terhadap getaran mekanis yang merambat ke seluruh struktur sasis.

Getaran mekanis pada unit genset diesel merupakan fenomena fisik yang tidak bisa dihilangkan sepenuhnya, melainkan harus diisolasi dan diredam agar tetap berada di bawah batas toleransi desain yang aman. Fluktuasi gaya dinamis yang tidak teredam dengan baik pada komponen mekanis dapat merambat ke seluruh sistem operasi, memicu kebisingan, keausan dini, hingga kegagalan struktural pada unit pembangkit (Nusi Putra et al., n.d.). Penerapan analisis spektrum getaran dalam mendeteksi cacat mekanis sejak dini sebelum terjadi kerusakan yang serius wajib dilaksanakan secara berkala. Analisis tersebut juga mampu mengidentifikasi malfungsi struktural kecil, seperti anomali pada sensor pasokan udara, yang segera terekam sebagai peningkatan amplitudo getaran ekstrem akibat fenomena *misfire* pada proses pembakaran.

Dalam menjamin keselamatan dan kelayakan operasional instalasi pembangkit listrik, setiap unit diwajibkan untuk memenuhi standar evaluasi yang ketat. Sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2021 mengenai Keselamatan Ketenagalistrikan, pemenuhan kelayakan dapat merujuk pada standar internasional yang telah diakui secara resmi (Kementerian ESDM, 2021). Dalam konteks pengukuran serta evaluasi getaran mekanis untuk unit generator set stasioner, instrumen regulasi yang dijadikan acuan utama di tingkat global adalah standar ISO 8528-9 (ISO 8528-9: 2017).

Penelitian ini berfokus pada analisis unit *generator set diesel* dengan spesifikasi mesin PERKINS tipe 2206C-E13TAG2 (kapasitas mekanis 305 kW) dan generator STAMFORD tipe HCI444E1 (kapasitas 350 kVA) yang beroperasi pada putaran 1500 RPM. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengukur tingkat getaran mekanis pada sumbu horizontal dan vertikal di titik-titik tumpuan (*mounting*) unit, menganalisis amplitudo beban tersebut melalui metode perhitungan matematis, serta menilai kelayakan operasionalnya berdasarkan kriteria dari standar ISO 8528-9.

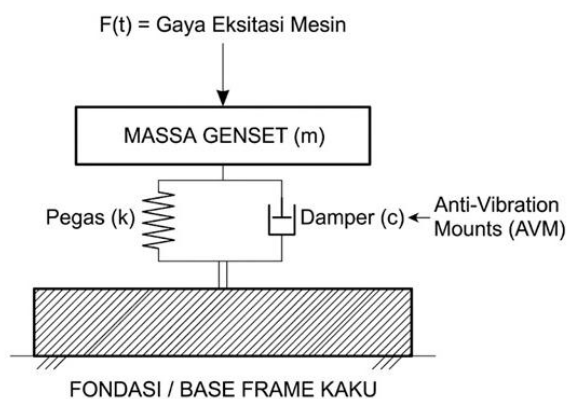
2. KAJIAN TEORITIS

DINAMIKA GETARAN MEKANIS

Getaran mekanis pada dasarnya didefinisikan sebagai gerakan osilasi dari suatu sistem yang berputar di sekitar titik keseimbangan fisiknya. Dalam penilaian mesin berputar (*rotating equipment*) berskala industri, parameter kinematika yang paling representatif untuk mengukur tingkat keparahan getaran (*vibration severity*) dalam rentang frekuensi menengah, yaitu antara 10 Hz hingga 1000 Hz, adalah metrik kecepatan atau *velocity*. Nilai amplitudo kecepatan ini umumnya diukur menggunakan besaran efektif *root mean square* (RMS). Untuk mengonversi sinyal fluktuatif menjadi representasi energi mekanis yang stabil, penelitian ini menerapkan persamaan *Root Mean Square* (RMS), sebuah metode pengukuran yang secara luas digunakan dalam pemodelan dinamis dan analisis karakteristik *generator set* diesel (Tao et al., 2025).

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1)$$

Guna mencegah transmisi rambatan getaran dari eksitasi mesin menuju struktur fondasi, unit generator set dilengkapi dengan sistem isolasi mekanis berupa *anti-vibration mounts* (AVM).



Gambar 1. Diagram Model Peredaman Getaran (AVM) pada Genset

Komponen isolator ini umumnya difabrikasi menggunakan material polimer elastomer atau karet poliuretan. Secara konseptual, pemodelan fisik pada sistem isolasi ini dikembangkan berdasarkan prinsip dasar dinamika benda tegar (*rigid body dynamics*) dengan mekanisme peredaman viskos (*viscous damping*).

Kapasitas redaman pada sistem isolator mekanis secara fundamental dikendalikan oleh dua parameter dinamis utama, yaitu tingkat kekakuan elastis (*stiffness*, k) dan koefisien redaman viskos (*damping*, c). Karakteristik ini sangat krusial dalam menentukan keandalan dudukan anti-getaran (*anti-vibration mounts/AVM*). Kombinasi

antara rasio kekakuan yang direndahkan dengan koefisien redaman yang dioptimalkan telah terbukti menjadi konfigurasi paling efektif untuk meminimalkan rasio transmisiabilitas getaran (*transmissibility ratio*) yang merambat menuju landasan sasis generator set diesel (Büyükbayraktar & Karaer, 2025).

STANDAR EVALUASI DAN PEMELIHARAAN PREVENTIF BERBASIS GETARAN

Parameter dan prosedur inspeksi kelayakan operasi pada unit ini disusun dengan mengadaptasi pedoman evaluasi *generating sets* terkini untuk memastikan kesesuaian dengan regulasi industri (ISO 8528-5:2025(En). Evaluasi tingkat kelaikan operasi generator set melalui pengujian getaran mekanis juga harus divalidasi menggunakan pedoman internasional, yaitu standar ISO 8528-9. Standar ini memberikan petunjuk teknis bahwa prosedur pengukuran harus dilakukan secara langsung pada titik tumpuan kaku yang menopang struktur mesin dan alternator, bukan pada panel yang mudah beresonansi. Secara analitik, parameter pengukuran getaran dipecah ke dalam dua domain utama: arah horizontal (radial) untuk menilai tingkat ketidakseimbangan mekanis dan potensi kelonggaran, serta arah vertikal (aksial) untuk mengukur efisiensi redaman pada beban pada sistem fondasi *anti-vibration mounts* (AVM).

Berdasarkan matriks kriteria evaluasi operasional, khususnya untuk kategori Ukuran *Frame* Kelas *Medium-Heavy* (kapasitas 300 kW hingga 400 kW), batas atas toleransi keselamatan ditetapkan secara mutlak. Detail parameter pengukuran dan standar limit evaluasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengukuran dan Ambang Batas Berdasarkan ISO 8528-9

Parameter Evaluasi	Domain Pengukuran	Titik Inspeksi	Ambang Batas Maksimal (<i>Limit, L</i>)	Indikasi Deteksi Kerusakan
Getaran Sasis Mesin (<i>Engine</i>)	Vertikal (Aksial) & Horizontal (Radial)	4 titik tumpuan sasis mesin (kiri-kanan, depan-belakang)	< 25 mms (Nilai RMS Kecepatan)	Keausan bantalan, rambatan gaya impulsif pembakaran.
Getaran Alternator (<i>Generator</i>)	Vertikal (Aksial) & Horizontal (Radial)	4 titik tumpuan sasis generator (kiri-kanan, depan-belakang)	< 25 mms (Nilai RMS Kecepatan)	Ketidakseimbangan putaran, defleksi torsi, <i>soft-foot</i> .

Pada operasional generator set diesel, khususnya untuk kategori *Frame Size Grade medium-heavy* dengan rentang kapasitas daya 300 kW hingga 400 kW, batas atas toleransi keselamatan mekanis diatur secara ketat. Berdasarkan standar kelayakan operasi, nilai batas maksimum kecepatan *Root Mean Square* (RMS) yang aman untuk kelas ini tidak

boleh melampaui 25 mm/s. Penyimpangan terhadap ambang batas kritis tersebut akan secara langsung memicu indikasi kerusakan struktural, seperti keausan dini pada bantalan, defleksi torsi pada poros, serta fenomena *soft-foot* pada landasan penyangga.

Penelitian terbaru membuktikan bahwa pemantauan spektrum getaran secara proaktif dapat mendeteksi berbagai cacat mekanis yang tersembunyi, seperti ketidaksejajaran poros (*misalignment*) dan defleksi pada sistem kopling elektromekanis. Selain keandalan struktural, metode evaluasi berbasis getaran ini juga terbukti memiliki sensitivitas tinggi dalam mengidentifikasi anomali termodinamika pada mesin pembakaran dalam, misalnya fenomena gagal bakar (*misfire*) maupun degradasi performa ruang bakar (Afanaseva et al., 2025). Oleh karena itu, kedisiplinan dalam pemeliharaan prediktif melalui variabel getaran dikonfirmasi berkorelasi secara langsung terhadap pencegahan kegagalan mendadak dan estimasi peningkatan masa guna aset instalasi (Zhang et al., 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengaplikasikan metode kuantitatif melalui uji operasi aktual pada kondisi tunak (*steady-state field test*) di sebuah fasilitas penyediaan energi berbasis generator set diesel. Pada saat ini banyak fasilitas masih menerapkan metode *corrective maintenance* atau *preventive maintenance* berbasis waktu, yang sering kali kurang efektif karena perawatan dilakukan setelah kerusakan terjadi atau tanpa mempertimbangkan kondisi aktual mesin (Martin et al., 2025). Sehingga uji operasi aktual pada kondisi tunak (*steady-state field test*) ini diharapkan menjadi solusi sebelum terjadinya kerusakan pada mesin generator set diesel di fasilitas pendidikan.

SPESIFIKASI OBJEK PENELITIAN

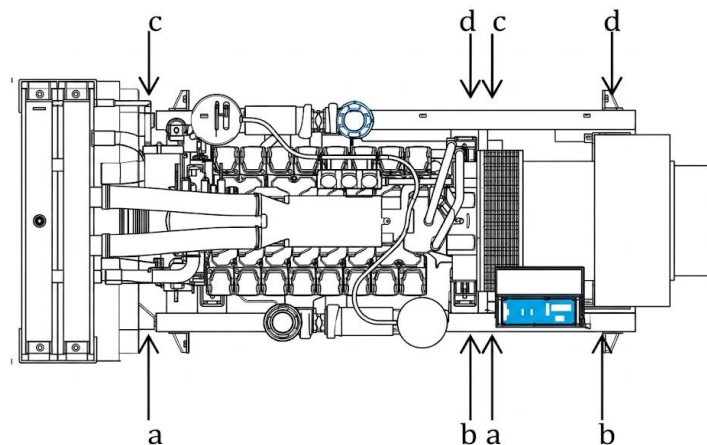
Objek utama yang dianalisis dalam studi ini merupakan satu kesatuan unit generator set dengan spesifikasi teknis berdasarkan data pelat nama (*nameplate*) sebagai berikut:

1. Mesin Penggerak Utama (*Prime Mover*): PERKINS 2206C-E13TAG2 (USA, 2018), dengan kapasitas daya mekanis sebesar 305 kW.
2. Generator Sinkron (*Alternator*): STAMFORD HCI444E1 (UK, 2018), berkapasitas 350 kVA (280 kW), tegangan 400 Volt, dan faktor daya ($\text{Cos } \phi$) 0,8.
3. Parameter Operasional: Beroperasi pada kecepatan putar sinkron 1500 RPM dengan frekuensi 50 Hz.

INSTRUMEN DAN PROSEDUR PENGUKURAN

Pengumpulan data primer dilakukan menggunakan instrumen pengukur getaran (*vibration meter*) portabel yang sesuai dengan standar industri dan dilengkapi dengan transduser akselerometer piezoelektrik. Pengujian dilakukan pada saat unit beroperasi secara konstan dengan pembebanan listrik secara bertahap. Sesuai dengan pedoman teknis ISO 8528-9, sensor pengukur tidak diletakkan pada panel penutup luar yang rentan terhadap resonansi, melainkan ditempatkan dengan presisi menggunakan basis magnetis pada kaki tumpuan sasis utama, posisi instrumen pengukuran untuk setiap titik dapat dilihat pada gambar 2.

Pemetaan titik pengukuran dilakukan dengan konfigurasi sebanyak 8 (delapan) lokasi, yang terdiri dari 4 titik pada sasis mesin (motor) dan 4 titik pada sasis generator (alternator). Pada masing-masing komponen, titik pemantauan meliputi posisi kuadran kiri depan, kanan depan, kiri belakang, serta kanan belakang.



Gambar 2. Skema Penempatan Titik Sensor Getaran

Pada setiap titik inspeksi tersebut, proses perekaman sinyal getaran dibagi ke dalam dua domain orientasi pengujian, yaitu:

1. Arah Horizontal (Radial): Diukur untuk mengevaluasi anomali ketidakseimbangan putaran mekanis (*unbalance*) dan mendeteksi potensi kelonggaran struktural.
2. Arah Vertikal (Aksial): Diukur untuk menilai efisiensi penyerapan redaman beban pada sistem fondasi *anti-vibration mounts* (AVM).

Seluruh data kuantitatif mentah hasil perekaman diekstraksi dan disajikan dalam metrik satuan kecepatan efektif atau *Root Mean Square* (RMS).

TEKNIK ANALISIS DATA

Data pengukuran di lapangan dievaluasi secara kuantitatif dengan membandingkan nilai amplitudo aktual (V_{aktual}) terhadap batas keselamatan (L) yang ditetapkan sebesar 25 mm/s. Guna menginterpretasikan tingkat keparahan serta merumuskan keputusan manajerial dari beban operasional yang terekam, data dianalisis menggunakan dua perumusan matematis yang diadopsi dari studi pemeliharaan prediktif terbaru.

Parameter pertama yang dihitung adalah rasio bahaya (*Danger Ratio*, DR). Ukuran ini digunakan secara luas dalam audit diagnostik mesin diesel untuk mengevaluasi rasio beban getaran aktual puncak terhadap batas toleransi maksimal (L) (Harindah, n.d.). Formulasi matematis untuk menghitung DR dirumuskan sebagai berikut:

$$DR = \left(\frac{V_{aktual}}{L} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Parameter kedua yang dievaluasi adalah margin keselamatan (*Margin of Safety*, MS). Perhitungan ini digunakan untuk memproyeksikan persentase sisa kapasitas toleransi aman dari struktur penyangga sebelum vibrasi memicu waktu henti (*downtime*) dan kegagalan mekanis sistem (Zhang et al., 2025). Persamaan untuk Margin Keselamatan dirumuskan sebagai berikut:

$$MS = \left(\frac{L - V_{aktual}}{L} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Kepatuhan terhadap ambang batas dari standar evaluasi merupakan instrumen fundamental dalam arsitektur pemeliharaan preventif dan prediktif. Tinjauan literatur dalam lima tahun terakhir secara konsisten mengonfirmasi bahwa analisis getaran adalah metode diagnostik tak rusak (*non-destructive*) yang krusial. Penelitian oleh Harindah (2024) membuktikan bahwa pemantauan spektrum getaran mampu mengidentifikasi cacat mekanis secara dini, di mana intervensi presisi kesejajaran poros (*alignment*) sukses menekan kembali amplitudo getaran ke angka 3,86 mm/s. Dari perspektif dinamika rotasi, profil getaran generator set juga terbukti dipengaruhi secara langsung oleh dinamika kopling elektromekanis yang memicu defleksi torsi (Tao et al., 2025).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil Pengukuran Getaran Mekanis

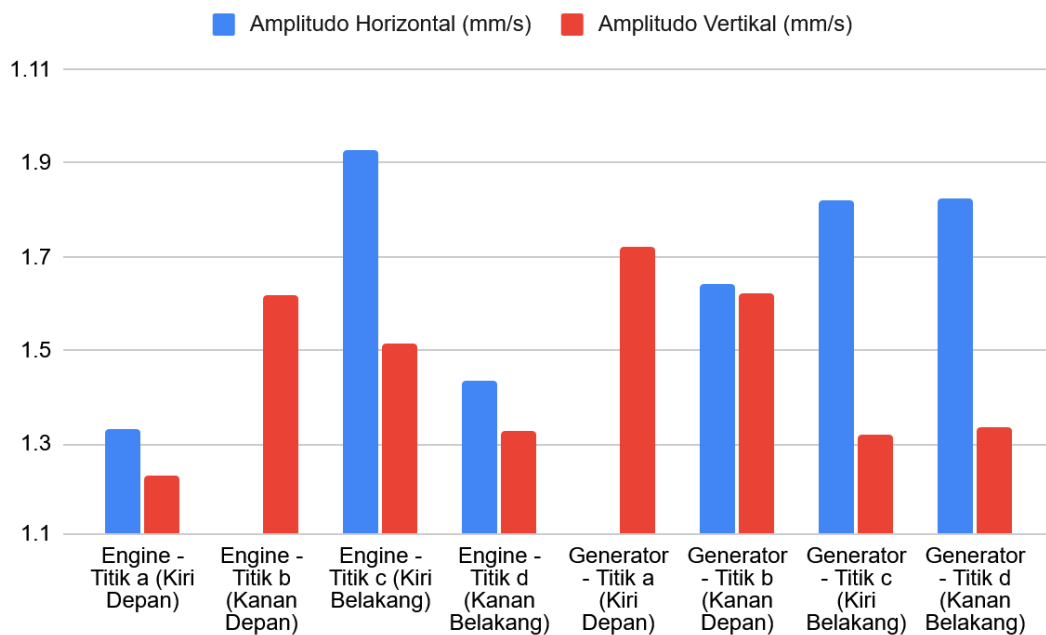
Pengujian lapangan dilaksanakan pada saat *generator set* beroperasi dalam kondisi tunak (*steady-state*) pada putaran nominal 1500 RPM. Seluruh data mentah sinyal getaran mekanis direkam dan diekstraksi menjadi nilai kecepatan efektif atau *Root Mean Square*

(RMS) guna merepresentasikan energi dinamis aktual yang merambat pada struktur. Matriks komprehensif hasil pengukuran amplitudo pada delapan titik tumpuan sasis mesin dan sasis generator disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Rekaman Data Pengukuran Getaran Sasis (Putaran 1500 RPM)

Komponen Utama	Posisi Kuadran Tumpuan	Amplitudo Horizontal (mm/s RMS)	Amplitudo Vertikal (mm/s RMS)
Engine (PERKINS)	Titik a (Kiri Depan)	11.3	8.2
	Titik b (Kanan Depan)	7.0	7.6
	Titik c (Kiri Belakang)	9.9	6.5
	Titik d (Kanan Belakang)	11.4	10.3
Generator (STAMFORD)	Titik a (Kiri Depan)	9.0	8.7
	Titik b (Kanan Depan)	14.6	8.6
	Titik c (Kiri Belakang)	8.8	7.3
	Titik d (Kanan Belakang)	9.8	12.3

Data pengukuran menggambarkan bahwa sebaran amplitudo getaran mekanis di seluruh titik inspeksi bervariasi secara signifikan, dengan rentang nilai aktual antara 6,5 mm/s (terendah) hingga puncaknya pada angka 14,6 mm/s (RMS).



Gambar 3. Grafik Getaran Engine (RMS Analysis)

Secara umum, getaran pada arah horizontal tampak lebih dominan dibandingkan arah vertikal di hampir seluruh bagian sasis. Angka tertinggi terekam pada area kanan depan sasis generator dengan amplitudo mencapai 14,6 mm/s. Kondisi ini wajar terjadi karena penyangga arah horizontal umumnya memiliki kekakuan struktural (*structural stiffness*) yang lebih fleksibel dalam merespons gaya luar, sedangkan getaran vertikal cenderung lebih mudah teredam oleh beban berat mesin itu sendiri. Meski demikian, lonjakan getaran yang berpusat pada area alternator tersebut tetap perlu diwaspadai

karena dapat menjadi indikasi awal adanya ketidakseimbangan putaran rotor (*mass unbalance*). Oleh karena itu, pemetaan dinamika awal seperti ini sangat penting dilakukan untuk mencegah keausan komponen yang lebih parah (Yao et al., 2024), sekaligus menjadi dasar perhitungan kelayakan operasi dan margin keamanan struktur penyangga.

PEMBAHASAN

Perhitungan Karakteristik Analitik dan Persentase Kelayakan

Batas toleransi kelayakan maksimal (V_{max}) untuk unit generator set kategori *medium-heavy* ditetapkan pada angka 25 mm/s (RMS) (Harindah, n.d.). Data aktual yang diperoleh dari proses pengukuran lapangan kemudian dievaluasi lebih lanjut guna memetakan persentase kelayakan operasi unit secara keseluruhan. Analisis analitik ini bertujuan untuk mengekstrak dua parameter utama, yakni persentase tingkat bahaya (*danger ratio*, DR) dan persentase sisa margin keselamatan (*margin of safety*, MS) pada masing-masing sektor tumpuan sasis. Hasil rekapitulasi dari kalkulasi tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Karakteristik Analitik Dan Persentase Kelayakan

Sektor Evaluasi	Parameter Dominan	Rata-rata (μ)	Puncak Maks (V_{max})	Persentase Bahaya (DR)	Margin Aman (MS)	Status Kelayakan
Mesin Horizontal	Ketidakseimbangan Lateral	9.9	11.4	45.60%	54.40%	LULUS
Mesin Vertikal	Defleksi Fondasi AVM	8.15	10.3	41.20%	58.80%	LULUS
Generator Horizontal	Ketidakseimbangan Lateral	10.55	14.6	58.40%	41.60%	LULUS
Generator Vertikal	Defleksi Fondasi AVM	9.23	12.3	49.20%	50.80%	LULUS

Evaluasi analitik difokuskan pada sektor sasis generator arah horizontal karena area ini menerima paparan beban dinamis tertinggi dengan amplitudo puncak mencapai 14,6 mm/s (RMS). Berdasarkan nilai aktual tersebut, persentase tingkat bahaya atau *Danger Ratio* (DR) terkalkulasi sebesar 58,40%. Angka ini berbanding terbalik secara proporsional dan menyisakan margin keselamatan (*Margin of Safety*, MS) sebesar 41,60%, sehingga status operasi unit secara keseluruhan dapat ditegaskan "LULUS".

Meskipun kuadran sasis generator tersebut menanggung gaya eksitasi yang paling ekstrem, intensitas getarannya sama sekali belum menyentuh batas kritis yang dapat memicu degradasi material. Ketersediaan margin keselamatan sebesar 41,60% ini sangat esensial sebagai bantalan pelindung (*buffer*) struktural. Margin tersebut berfungsi secara aktif untuk meredam gaya eksitasi kejut (*shock load*) maupun beban transien yang kerap muncul akibat residu ketidakseimbangan mekanis (*unbalance*) atau ketidaksejajaran

poros (*misalignment*) pada unit berotasi. Implementasi dan evaluasi batas toleransi getaran seperti ini merupakan fondasi utama dari strategi *Condition-Based Maintenance* (CBM) untuk mendeteksi anomali sejak dini, mencegah kerusakan fatal, dan memperpanjang usia pakai sistem pembangkit (Akbar & Karmiadi, n.d.)

Pembahasan dan Interpretasi Teknikal

Karakteristik dinamis generator set dari hasil pengujian menunjukkan performa redaman dan stabilitas struktural yang sangat andal. Secara mekanis, profil redaman pada sumbu vertikal mempresentasikan stabilitas yang kohesif dengan nilai puncak terekam sebesar 10,3 mm/s pada blok mesin dan 12,3 mm/s pada area generator. Distribusi beban aksial yang merata ini membuktikan bahwa parameter kekakuan serta koefisien redaman pada sistem *anti-vibration mounts* (AVM) berfungsi secara optimal. Konfigurasi peredam tersebut terbukti efektif mengisolasi gaya kejut dari tekanan pembakaran maupun beban gravitasi, sehingga rasio *transmisibilitas* getaran tidak merambat ke fondasi beton secara destruktif.

Pada evaluasi sumbu horizontal, teridentifikasi adanya sebaran fluktuasi asimetris dengan lonjakan amplitudo radial tertinggi mencapai 14,6 mm/s pada kuadran kanan depan sasis generator (Titik B). Dalam konteks diagnostik mesin rotasi, deviasi transversal yang dominan pada area alternator ini umumnya diinduksi oleh gaya sentrifugal akibat putaran rotor. Fenomena tersebut menjadi indikator adanya deviasi minor pada kesejajaran poros (*misalignment*) atau potensi kelonggaran ikatan pada plat jangkar penyangga bawah (*soft foot*). Meskipun menjadi titik dengan beban dinamis tertinggi, amplitudo tersebut belum memasuki fase resonansi berbahaya karena sistem masih memiliki margin keselamatan sasis yang cukup lebar, yakni sebesar 41,60%.

Secara komprehensif, seluruh vektor amplitudo pada titik pemantauan terverifikasi berada jauh di bawah ambang batas keselamatan yang diatur oleh standar ISO 8528-9 (< 25 mm/s). Dengan terpenuhinya kriteria teknis keselamatan ketenagalistrikan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 10 Tahun 2021, unit generator set 350 kVA ini diklasifikasikan sebagai instalasi yang andal, aman, dan layak untuk beroperasi secara kontinu (Dermawan & Rumawan, 2024).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian lapangan dan analisis karakteristik dinamika getaran mekanis pada struktur unit generator set diesel dengan kapasitas 350 kVA, penelitian ini

merumuskan beberapa kesimpulan utama yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan dan perbaikan desain unit generator set diesel yaitu:

1. Distribusi beban getaran mekanis tertinggi terakumulasi pada orientasi sumbu horizontal, dengan nilai kecepatan rata-rata (RMS) sebesar 10,55 mm/s pada sasis generator dan 9,90 mm/s pada sasis mesin. Sebaliknya, profil getaran pada sumbu vertikal terbukti jauh lebih stabil dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 9,23 mm/s. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem isolasi Anti-Vibration Mounts (AVM) masih beroperasi pada tingkat efisiensi peredaman aksial yang sangat baik.
2. Nilai amplitudo getaran memuncak (peak value) secara spesifik terlokalisasi pada kuadran kanan depan sasis generator (arah horizontal) dengan angka 14,6 mm/s. Berdasarkan evaluasi kelayakan pada titik ekstrem tersebut, sistem menerima persentase beban bahaya (Danger Ratio) sebesar 58,40%. Meskipun menanggung beban tertinggi, integritas struktur dipastikan tetap aman karena sistem penyangga masih mempertahankan sisa margin keselamatan (Margin of Safety) yang solid sebesar 41,60%.
3. Secara komprehensif, seluruh matriks data getaran aktual yang terekam pada delapan titik tumpuan (rentang 6,5 mm/s hingga 14,6 mm/s) terverifikasi berada di bawah ambang batas toleransi maksimal operasi (< 25 mm/s). Dengan demikian, unit generator set 350 kVA ini telah memenuhi standar kelayakan mekanis ISO 8528-9 serta kriteria keselamatan ketenagalistrikan sesuai Peraturan Menteri ESDM RI Nomor 10 Tahun 2021, sehingga dinyatakan sangat layak dan andal untuk beroperasi secara kontinu.

SARAN

Sebagai bentuk implementasi kebijakan pemeliharaan prediktif (*Predictive Maintenance*) yang berkelanjutan guna mendongkrak durabilitas dan siklus hidup generator set, direkomendasikan beberapa tindakan sebagai berikut:

1. Pihak manajemen operasional wajib mendokumentasikan nilai puncak amplitudo sebesar 14,6 mm/s pada sasis generator ke dalam basis data historis perawatan. Jika pada inspeksi berkala di masa mendatang amplitudo pada titik ini mengalami eskalasi hingga menyentuh ambang batas peringatan dini (*warning limit*) 20 mm/s, unit mesin harus segera menempuh prosedur penghentian darurat (*emergency shutdown*). Penetapan ambang batas getaran ini sangat esensial dalam kerangka pemeliharaan berbasis keandalan mesin

(*reliability centered maintenance*) untuk mencegah kerusakan fatal komponen akibat beban dinamis (Fatihana Dinda, 2024).

2. Guna mengembalikan efisiensi kinerja mekanis generator set, direkomendasikan untuk segera menjadwalkan kalibrasi kesejajaran sumbu poros secara presisi. Selain itu, sangat krusial untuk melakukan inspeksi visual dan pengencangan torsi ulang pada mur penahan pelat sasis (baseplate mounting bolts) di sekitar kuadran anomali. Tindakan mekanis ini mutlak diperlukan untuk mengeliminasi potensi deviasi kelurusan (misalignment) yang dipicu oleh kelonggaran ikatan struktural dudukan atau fenomena *soft foot* (Rachmanu Fatkur et al., 2025).
3. Penilaian tingkat elastisitas dan keausan pada peredam karet (rubber shock absorbers) di setiap kaki penyangga harus dilaksanakan secara disiplin, idealnya pada setiap kelipatan 2.500 jam operasi atau pada saat pemeliharaan tahunan. Langkah ini bertujuan untuk mencegah degradasi koefisien redaman yang dapat memicu rambatan getaran dan kelelahan material (fatigue) pada fondasi beton.

DAFTAR REFERENSI

- Afanaseva, O., Pervukhin, D., & Khatusov, A. (2025). Vibration-Based Condition Monitoring of Diesel Engines in Industrial Energy Applications: A Scoping Review. In *Energies* (Vol. 18, Number 21). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en18215717>
- Akbar, A., & Karmiadi, D. W. (n.d.). Analisis Getaran Pengaruh Variabel Misalignment. In *Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin* (Vol. 11, Number 3).
- Büyükbayraktar, A., & Karaer, Ö. (2025). Optimized Vibration Isolation in Diesel Generators: The Effect of Stiffness and Damping Coefficients on Vibration Behavior. *JDEU*, 1(2), 17–34. <https://doi.org/10.21205/deufmd>
- Dermawan, M. A., & Rumawan, H. (2024). *ELECTROPS Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Analisis Hasil Pemeriksaan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel untuk Mendapatkan Sertifikat Laik Operasi* (Vol. 3, Number 2). <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TE>
- Endrianto, E. W., & Kusuma, I. R. (2025). System Modeling of Predictive Maintenance for Engine Health Monitoring on Ship Auxiliary Engines Using Vibration Variables. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 10(3), 766–778. <https://doi.org/10.12962/J25481479.V10I3>
- Fatihana Dinda. (2024). *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA DIESEL GENERATOR SWAMP BARGE DI WILAYAH KERJA (WK) PERTAMINA HULU MAHAKAM TESIS*. Institut Teknologi Bandung.

- Harindah, G. (n.d.). *Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran Menggunakan Standar Iso 10816 Pada Mesin Diesel di PLTD Tobelo*. *ISO 8528-5:2025(en)*, *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 5: Generating sets*. (n.d.). Retrieved May 8, 2026, from <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8528:-5:ed-6:v1:en>
- ISO 8528-9: (2017). *ISO 8528-9:2017(E) ii COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*. www.iso.org/TechnicalStandardsPreview
- Martin, A., Cahyati, W., Adriandy, W., & Mainil, R. I. (2025). Perancangan Freeze Vacuum Drying Menggunakan Thermal Energy Storage untuk Mengeringkan Lidah Buaya dengan Kapasitas 4 kg. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 14(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v14i2.4398>
- Nusi Putra, R., Sugiarto, T., Hidayat, N., Kunci Roller Rocker Arm, K., Mesin, G., & Mesin, K. (n.d.). *Analisis Penggunaan Roller Rocker Arm (RRA) Terhadap Getaran (Vibrasi), Kebisingan (Noise) dan Temperature Oli Mesin Pada Sepeda Motor 4 TAK Analysis of The Use of Roller Rocker Arm On Vibration, Noise and Engine Oil Temperature On 4 Stroke Motorbikes*. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v3i4.210>
- PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA NOMOR 12 TAHUN 2021 TENTANG KLASIFIKASI, KUALIFIKASI, AKREDITASI DAN SERTIFIKASI USAHA JASA PENUNJANG TENAGA LISTRIK (2021).
- Rachmanu Fatkur, Widodo, Is Subekti Mokhamad, Wira Dimas Manggala, & Turmudi Agung. (2025). STUDI GETARAN MESIN ROTOR 0,4 KW BELT KONDISI PARALEL MISALIGNMENT MENGGUNAKAN INDUSTRIAL VIBRATION ANALYZER. *RAMATEKNO*, 34–40.
- Tao, J., Meng, L., Han, J., Yang, Q., Li, W., & Guo, Y. (2025). Dynamic Modeling and Electromechanical Coupling Characteristics Analysis in Diesel Generator Sets. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, 13(8), 612-. <https://doi.org/10.1007/S42417-025-02127-7/METRICS>
- Yao, B., Tian, Z., Zhan, X., Li, C., & Yu, H. (2024). Study on Rotor-Bearing System Vibration of Downhole Turbine Generator under Drill-String Excitation. *Energies*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/en17051176>
- Zhang, G., Wang, Y., & Tian, C. (2025). A Method for Predicting the Residual Availability of the Drive System of a Generator Set Considering Mutation Detection. *2025 IEEE International Conference on Electrical Energy Conversion Systems and Control, IEECS 2025*, 94–99. <https://doi.org/10.1109/IEECSC64206.2025.11099934>