



Analisa Kelayakan Operasi Generator Set Diesel 350 kVA Berbasis ISO 8528-5:2025

Sunu Arsy Pratomo^{1*}, Mu'izzaddin Wa'adulloh²

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

²Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Universitas Maritim AMNI, Indonesia

Email: shoeyzero@gmail.com¹, muizzabdullah589@gmail.com²

*Penulis Rekomendasi: shoeyzero@gmail.com

Abstract. The stability of electrical parameters in a generator set (genset) under high load conditions is a primary indicator of the reliability of a backup power supply system. This study aims to analyze the operational feasibility of a 350 kVA (280 kW) diesel genset unit with specific reference to the performance criteria established by ISO 8528-5:2025. The methodology employed in this research is a quantitative experimental design using a field observation approach through step-load bank testing. The measurement results indicate that the unit meets the G3 performance class criteria, characterized by exceptional frequency stability within the 49.98–50.02 Hz range (maximum deviation of ± 0.02 Hz) under stable operating conditions. Capacity testing demonstrated the ability to sustain a peak load of 205.3 kW (84% of active capacity), confirming the system's capability to maintain voltage regulation at 388 V with a deviation of only -3% from the nominal value of 400 V. Current unbalance analysis showed a linear correlation, where the unbalance value decreased drastically from 10.87% at low loads to below 1% at optimal loads. This study concludes that the generator unit exhibits highly reliable and responsive performance in supporting critical facility loads in compliance with international standards.

Keywords: Diesel Generator Set; Electrical Parameter Stability; ISO 8528-5:2025; Operational Feasibility; Step-Load Bank Test

Abstrak. Stabilitas parameter listrik pada generator set (genset) saat menghadapi beban tinggi adalah indikator utama dari keandalan sistem penyedia catu daya cadangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan operasional unit genset diesel berkapasitas 350 kVA (280 kW) dengan merujuk secara spesifik pada kriteria performa yang ditetapkan oleh ISO 8528-5:2025. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain eksperimental kuantitatif dengan pendekatan observasi lapangan melalui pengujian beban bertahap (step-load bank test). Hasil dari pengukuran menunjukkan bahwa unit tersebut memenuhi kriteria kelas performa G3, yang ditandai dengan stabilitas frekuensi yang sangat tinggi dalam rentang 49,98–50,02 Hz (deviasi maksimal $\pm 0,02$ Hz) pada kondisi operasional yang stabil. Pengujian kapasitas menunjukkan kemampuan hingga beban puncak 205,3 kW (84% dari kapasitas aktif), yang mengonfirmasi kemampuan sistem dalam menjaga regulasi tegangan pada nilai 388 V dengan deviasi hanya -3% dari nilai nominal 400 V. Analisis ketidakseimbangan arus menunjukkan adanya korelasi linier, di mana nilai ketidakseimbangan menurun drastis dari 10,87% pada beban rendah menjadi di bawah 1% pada beban optimal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa unit generator ini memiliki performa yang sangat andal dan responsif dalam mendukung beban fasilitas kritis sesuai dengan standar internasional.

Kata kunci: Generator Set Diesel; ISO 8528-5:2025; Kelayakan Operasi; Stabilitas Parameter Listrik; Uji Beban Bertahap

1. LATAR BELAKANG

Genset diesel banyak digunakan sebagai sumber daya cadangan untuk memastikan keberlangsungan layanan di fasilitas industri dan infrastruktur penting, seperti rumah sakit, pusat data, sistem telekomunikasi, instalasi pengolahan air, serta proses produksi yang berkelanjutan. Dalam mendukung ekosistem fasilitas kritis tersebut, operasional genset dengan kapasitas menengah, seperti 350 kVA, memiliki peran yang sangat penting. Selain memastikan keandalan daya, penerapan *Standard Operating Procedure* (SOP) dan proteksi instalasi kelistrikan yang ketat di fasilitas industri dan infrastruktur penting mutlak dipenuhi guna

meminimalisasi risiko kecelakaan kerja akibat tegangan dan arus lebih selama pengoperasian generator (Arsy & Murti, 2021; Wijaya, 2025).

Kinerja genset tidak hanya diukur dari kemampuannya untuk mencapai daya maksimum atau persentase beban tertentu, kelayakan genset sangat ditentukan oleh kemampuannya untuk menjaga parameter kelistrikan tetap dalam batas toleransi yang dapat diterima, baik dalam kondisi operasi stabil (*steady-state*) maupun saat terjadi fluktuasi perubahan beban. Sebagai langkah preventif, diperlukan metode prediksi stabilitas tegangan yang cepat agar tindakan korektif dapat dilakukan tepat waktu (Khalili et al., 2022; Basuki, 2025).

Untuk memastikan kualitas daya tersebut, standar internasional ISO 8528-5:2025 menjadi acuan utama dalam menilai keandalan unit genset. Standar ini secara spesifik menyatakan bahwa performa genset harus dievaluasi melalui karakteristik tegangan dan frekuensi, baik pada kondisi *steady-state* maupun dalam kondisi transien akibat perubahan beban (*load step*) dan dinamika pemulihan sistem (*International Organization for Standardization, 2025*). Parameter penting yang dievaluasi mencakup deviasi tegangan (ΔV), deviasi frekuensi (Δf), serta kemampuan pemulihan menuju nilai nominal pada jangka waktu tertentu, yang kemudian dipetakan untuk menentukan kelas performa genset. Berdasarkan prinsip ISO 8528-5:2025, evaluasi performa genset tidak boleh bersifat umum. Pengujian yang dilakukan harus langsung terkait dengan profil beban nyata, skenario operasi (beban kejut saat *blackout*, urutan *starting* motor, serta perlindungan untuk beban sensitif elektronik), dan besaran langkah beban yang mungkin terjadi selama kondisi darurat. Oleh karena itu, saat pengujian di lapangan, perlu dipastikan bahwa parameter tegangan dan frekuensi tetap stabil di seluruh rentang pembebanan yang relevan dengan kebutuhan fasilitas, bukan hanya diuji pada titik beban maksimum saja (Putra & Mahmudin, 2025; As'ad Mubarak et al., 2025; Sinay, 2025).

Selain stabilitas tegangan dan frekuensi, kualitas pembebanan dalam sistem tiga fasa menjadi aspek penting lainnya yang menentukan efisiensi dan umur teknis genset. Beban yang tidak seimbang dalam jaringan dapat menyebabkan ketidakseimbangan arus yang menghasilkan arus urutan negatif (*negative-sequence current*) yang kembali mengalir ke genset. Kondisi ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan rugi-rugi, pemanasan tambahan pada motor, penurunan efisiensi termal, dan berpotensi mempercepat degradasi isolasi jika berlangsung secara berulang atau dalam waktu yang lama. Selain memenuhi batasan kualitas daya, keandalan genset sangat bergantung pada sistem pemeliharaannya. Praktik pemeliharaan korektif yang hanya dilakukan setelah kerusakan terjadi terbukti meningkatkan

risiko *downtime* dan memperpendek usia teknis peralatan. Sebaliknya, penerapan pemeliharaan preventif yang terencana secara signifikan mampu menekan frekuensi kerusakan mendadak, mengoptimalkan efisiensi operasi, serta memperpanjang masa pakai komponen vital genset di fasilitas operasional (Wijaya et al., 2025).

Menanggapi urgensi teknis tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan "Analisa Kelaikan Operasi Genset Diesel 350 kVA Berbasis Standar ISO 8528-5:2025". Berbeda dengan pengujian *commissioning* standar, evaluasi kelaikan operasi dalam penelitian ini dirancang secara menyeluruh dengan memasukkan indikator stabilitas regulasi daya ISO 8528-5:2025, tingkat ketidakseimbangan arus antar-fasa (*current unbalance*), serta pengawasan terhadap konsistensi relasi antara daya aktif, reaktif, dan daya semu. Melalui pendekatan ini, diharapkan kinerja genset dapat divalidasi secara menyeluruh untuk menjamin keandalan pasokan daya di fasilitas kritis (Maqshudi1 et al., 2026).

2. KAJIAN TEORITIS

Standar Kinerja ISO 8528-5:2025 dan Dinamika Ketidakseimbangan Beban

Keandalan sistem pembangkit tenaga listrik cadangan sangat bergantung pada kemampuan dalam menyuplai daya listrik dengan parameter yang stabil. Standar internasional ISO 8528-5:2025 menetapkan kerangka kerja menyeluruh dalam mengevaluasi performa generator set yang bertenaga diesel. Standar ini mewajibkan penilaian kinerja genset dievaluasi melalui observasi karakteristik deviasi tegangan (ΔV) dan deviasi frekuensi (Δf), baik pada kondisi tunak (*steady-state*) maupun transien akibat lonjakan beban mendadak (*load step*).

Secara rinci, ISO 8528-5:2025 mengelompokkan jenis generator ke dalam empat kategori kinerja, yaitu G1 hingga G4, berdasarkan batas toleransi deviasi yang diperbolehkan terhadap variasi beban. Kelas G1 digunakan untuk melayani beban dasar yang tidak memerlukan kualitas daya tinggi, seperti sistem pencahayaan sederhana dan beban resistif dasar. Kelas G2 ditujukan untuk beban industri dengan karakteristik yang menyerupai sistem komersial konvensional, seperti motor pompa, kipas angin (fan), dan lift. Sementara itu, kelas G3 digunakan untuk melayani beban kritis dan sensitif yang membutuhkan stabilitas frekuensi serta tegangan yang sangat ketat, sehingga cocok diterapkan pada fasilitas seperti pusat data, peralatan medis, dan sistem telekomunikasi. Adapun kelas G4 diperuntukkan bagi aplikasi khusus yang memiliki persyaratan performa tertentu, di mana kriteria operasionalnya dibahas dan disepakati secara spesifik antara produsen dan pengguna sesuai kebutuhan aplikasi (*customized parameters*).

Pada unit generator berkapasitas 350 kVA yang digunakan di lingkungan perguruan tinggi atau fasilitas industri, sasaran kinerja ditetapkan pada Kelas G3. Kelas ini mengharuskan *electronic governor* dan *automatic voltage regulator* (AVR) memberikan respons yang sangat cepat untuk memastikan bahwa fluktuasi parameter tetap dalam batas yang sangat minim saat menghadapi dinamika operasional.

Selain pengaturan tegangan dan frekuensi, kualitas distribusi beban dalam sistem tiga fasa adalah aspek penting untuk memastikan kelaikan unit. Ketidakseimbangan beban dalam jaringan dapat menyebabkan ketidakseimbangan arus, yang pada gilirannya menghasilkan komponen arus urutan negatif. Keadaan yang tidak normal ini berkontribusi secara langsung terhadap peningkatan kerugian daya, pemanasan tambahan di area rotor, dan penurunan efisiensi termal generator.

Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini berlandaskan pada hasil empiris dari sejumlah penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kualitas daya dan kestabilan mesin sinkron, baik dalam literatur internasional maupun dalam studi kasus yang dilakukan di Indonesia.

Dalam konteks internasional, penelitian pemodelan dan eksperimen menunjukkan bahwa kondisi pembebanan yang tidak seimbang serta beban non-linear dapat secara signifikan merugikan kinerja operasional genset (Bulatov et al., 2023). Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan batasan operasi yang ketat berdasarkan kriteria ketidakseimbangan arus sangat penting untuk mencegah keausan pada komponen. Sejalan dengan itu, pentingnya pengendalian ketidakseimbangan beban tiga fasa dalam jaringan distribusi aktif guna mengurangi disipasi panas dan menjaga efisiensi. Dari sudut pandang standar pengujian, evaluasi kelaikan ISO 8528-5:2025 tidak seharusnya bersifat umum, melainkan harus terhubung dengan profil beban nyata dan skenario transien yang mungkin terjadi dalam situasi darurat.

Di Indonesia, penelitian mengenai keandalan genset diesel sebagai catu daya cadangan sangat krusial bagi kelangsungan operasional fasilitas infrastruktur maupun bangunan komersial. Dalam penelitian terkait pemeliharaan genset di fasilitas gedung, penerapan pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*) yang ketat pada sistem pelumas, pendingin, dan kelistrikan (aki) terbukti efektif dalam mengatasi anomali getaran mesin serta mencegah kegagalan sistem saat asut (*starter*) (Maqshudi1 et al., 2026). Temuan ini memperkuat urgensi bahwa evaluasi kualitas daya seperti halnya parameter deviasi tegangan dan frekuensi tidak berdiri sendiri, melainkan harus diintegrasikan dengan manajemen perawatan mekanis yang rutin untuk menjaga tingkat kelaikan operasi unit secara menyeluruh.

Studi operasional pada unit generator di fasilitas pelayanan kesehatan membuktikan bahwa prosedur perawatan yang terjadwal mampu mempertahankan tingkat keandalan (*reliability*) mesin pada angka 99,7% dan tingkat ketersediaan (*availability*) mencapai 98,6% (Salim Siregar et al., n.d.). Evaluasi pemeliharaan tersebut menekan angka waktu kerusakan (*downtime*) dan memperpanjang *Mean Time Between Failures* (MTBF). Hal ini sejalan dengan urgensi dalam pengujian ISO 8528-5:2025, di mana pencapaian stabilitas daya yang tinggi tidak akan bertahan lama tanpa adanya dukungan inspeksi preventif yang memadai.

Penelitian ini mengisi celah (*research gap*) dengan menghubungkan secara langsung parameter kelaikan ISO 8528-5:2025 dengan fenomena ketidakseimbangan arus pada unit genset berkapasitas menengah (350 kVA) melalui metode eksperimental di lapangan. Integrasi kedua variabel ini masih jarang dicatat secara menyeluruh dalam pengujian standar di Indonesia.

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian, Objek, dan Sumber Data

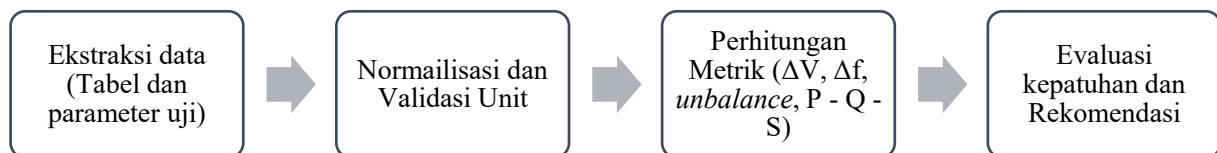
Penelitian ini menerapkan desain eksperimental kuantitatif dengan pendekatan observasi lapangan. Pengujian dilaksanakan secara langsung pada satu unit generator diesel berkapasitas 350 kVA yang berfungsi sebagai sumber daya cadangan untuk fasilitas pendidikan. Evaluasi kinerja difokuskan pada respons dinamis sistem kelistrikan terhadap variasi beban untuk memverifikasi kelayakan operasional sesuai dengan kelas performa yang ditetapkan dalam standar ISO 8528-5:2025.

Pengambilan data performa operasional genset dilakukan melalui metode variasi pembebanan secara bertahap, sebuah pendekatan eksperimental yang telah tervalidasi efektif untuk mengukur korelasi langsung antara peningkatan beban kelistrikan terhadap lonjakan daya keluaran, torsi mekanis, serta tingkat konsumsi bahan bakar (Atika D & Muhammad R, 2024). Data yang dianalisis merupakan data primer yang diambil dari hasil pengujian beban. Objek penelitian yang diteliti adalah genset diesel 350 kVA beserta subsistem kelistrikan didalamnya yang berpengaruh terhadap pembebanan genset. Spesifikasi nominal unit ditetapkan yaitu generator tiga fasa berkapasitas 350 kVA/280 kW, tegangan 400 V, frekuensi 50 Hz, dan kecepatan putaran sebesar 1500 rpm.



Gambar 1. Genset STAMFORT HCI444E1/UK/2018

Sumber data utama penelitian berasal dari pengujian secara langsung pada tahap operasional genset. Data kinerja operasi diperoleh dari uji kapasitas yang berbasis deret waktu (*time series*), yang memuat pengukuran parameter operasi per interval, meliputi putaran, tegangan, frekuensi, arus tiga fasa, faktor daya, daya aktif (kW), daya reaktif (kVAr), serta prosentase pembebanan. Pengukuran putaran mesin (rpm) dalam pengujian ini sejalan dengan studi eksperimental yang membuktikan bahwa stabilitas putaran mesin diesel berpengaruh secara langsung terhadap keluaran daya generator (Sinay et al., n.d.). Pengujian pembebanan dilakukan menggunakan beban riil dan tidak menunjukkan gangguan selama pengujian, sehingga data tersebut layak digunakan untuk mengevaluasi kestabilan operasi pada variasi tingkat beban.



Gambar 2. Alur Analisis

Kerangka yang digunakan untuk mengukur performa genset dalam penelitian ini berdasarkan pada prinsip evaluasi deviasi tegangan dan frekuensi pada kondisi operasi dan perubahan beban sesuai dengan ISO 8528-5:2025.

Ketidakseimbangan Beban Tiga Fasa

Ketidakseimbangan beban tiga fasa merupakan ketidakseimbangan antara tegangan atau arus dalam sistem kelistrikan. Ketidakseimbangan ini mengakibatkan gangguan pada kinerja sistem kelistrikan, termasuk peningkatan rugi-rugi daya, pemanasan berlebih, serta penurunan efisiensi operasional pada genset. Salah satu indikator yang penting untuk

menganalisis ketidakseimbangan beban adalah deviasi arus dan tegangan pada fasa, serta distribusi daya dalam sistem.

Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan merupakan ukuran perbedaan antara tegangan yang terukur pada sistem dengan tegangan nominal yang diharapkan. Deviasi ini penting untuk mengetahui sejauh mana tegangan tetap dalam batas yang dapat diterima oleh genset selama operasi. Rumus untuk menghitung deviasi tegangan adalah sebagai berikut (*International Organization for Standardization*, 2025):

$$AV(\%) = \frac{V_{LL} - V_{nom}}{V_{nom}} \times 100\% \quad (I)$$

Dimana:

V_{LL} merupakan tegangan antar fasa (*line-to-line voltage*),

V_{nom} merupakan tegangan nominal yang diharapkan (400 V pada penelitian ini).

Deviasi tegangan harus dijaga dalam batas yang ditentukan untuk memastikan kinerja genset yang optimal dan stabil pada berbagai tingkat beban.

Deviasi Frekuensi (Δf)

Deviasi frekuensi merupakan perbedaan antara frekuensi yang terukur dan frekuensi nominal. Frekuensi yang kurang stabil dapat mempengaruhi kinerja genset dan perangkat listrik. Rumus deviasi frekuensi adalah (Ramadhan et al., n.d.):

$$\Delta f = f - f_{nom} \quad (II)$$

Dimana:

f merupakan frekuensi yang terukur,

f_{nom} merupakan frekuensi nominal yang diharapkan (50 Hz).

Frekuensi genset harus dijaga dalam batas toleransi tertentu agar genset dapat berfungsi secara efisien dalam kondisi steady-state

Daya Semu (S)

Daya semu merupakan kombinasi antara daya aktif dan daya reaktif yang digunakan pada genset. Pengukuran daya semu penting untuk mengetahui total daya yang dibutuhkan oleh sistem dan kapasitas yang dapat dipenuhi oleh genset. Rumus daya semu adalah sebagai berikut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ atau } S = \frac{P}{PF} \quad (III)$$

Dimana:

P merupakan daya aktif (kW),

Q merupakan daya reaktif (kVAr),

PF merupakan faktor daya.

Daya semu merupakan parameter penting dalam menganalisis performa genset. Pada genset diesel, distribusi antara daya aktif dan daya reaktif berdampak pada efisiensi operasional genset.

Daya Reaktif (Q) dari Faktor Daya (PF)

Daya reaktif dihitung berdasarkan daya aktif dan faktor daya. Faktor daya yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang dihasilkan tidak efektif dalam melakukan kerja, sehingga sistem menjadi kurang efisien. Rumus perhitungan daya reaktif adalah sebagai berikut:

$$Q_{calc} = P \times \tan(\arccos(PF)) \quad (IV)$$

Dimana:

P merupakan daya aktif (kW),

PF merupakan faktor daya.

Daya reaktif yang dihitung dari faktor daya berfungsi untuk mengevaluasi kinerja sistem kelistrikan dan mengidentifikasi potensi masalah seperti ketidakseimbangan beban.

Ketidakseimbangan Arus (I unbalance)

Ketidakseimbangan arus dapat menyebabkan arus urutan negatif, yang berdampak buruk pada komponen genset dan meningkatkan risiko kerusakan. Rumus ketidakseimbangan arus adalah:

$$I_{avg} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (V)$$

$$I_{unbalance}(\%) = \frac{\max(|I_R - I_{avg}|, |I_S - I_{avg}|, |I_T - I_{avg}|)}{I_{avg}} \times 100\% \quad (VI)$$

Dimana:

I_R , I_S , dan I_T merupakan arus pada masing-masing fasa R, S, dan T,

I_{avg} merupakan rata-rata arus.

Ketidakseimbangan arus dapat menyebabkan arus negatif yang meningkatkan torsi dan mempercepat keausan genset, serta menimbulkan rugi-rugi daya pada genset.

Persentase Beban

Persentase beban mengukur kemampuan genset beroperasi pada kapasitas nominalnya. Pada genset 350 kVA dengan kapasitas daya nominal P_{rated} sebesar 280 kW, persentase beban dihitung dengan rumus berikut:

$$Load(\%) = \frac{P}{P_{rated}} \times 100\% \quad (VII)$$

Dimana:

P_{rated} merupakan kapasitas daya nominal genset.

Persentase beban merupakan indikator penting dalam mengevaluasi performa genset. Beban yang lebih tinggi dari kapasitas nominal akan mempengaruhi stabilitas tegangan dan frekuensi pada genset.

Ketidakseimbangan beban antar fasa akan meningkatkan rugi-rugi daya serta menurunkan tegangan (Zulpanuri et al., n.d.). Ketidakseimbangan beban tiga fasa juga menyebabkan gangguan arus pada genset, seperti putaran mesin tidak stabil, getaran berlebih, serta rugi-rugi daya yang mengurangi efisiensi sistem. Penurunan ketidakseimbangan arus pada beban tinggi menunjukkan bahwa genset mampu beroperasi dengan lebih stabil pada beban penuh, hal tersebut penting untuk menghindari kerusakan pada peralatan kelistrikan.

Pembebanan berlebih pada peralatan listrik seperti generator atau transformator distribusi akan secara signifikan mempercepat penurunan umur pakainya (*life-time*) dari standar yang telah ditetapkan (Saputra et al., n.d.). Pengelolaan distribusi beban antar fasa yang lebih seimbang penting dalam mengoptimalkan kinerja pada genset dan memperpanjang masa pakai. Penting untuk memonitor dan mengelola ketidakseimbangan beban dengan cermat, terutama pada kondisi pembebanan parsial yang sering terjadi pada genset cadangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kapasitas Mampu Berdasarkan Waktu Interval

Uji kapasitas mampu genset diesel 350 kVA dilakukan pada interval 13.00 hingga 14.00. Pelaksanaan pengujian menggunakan parameter operasional yaitu: daya aktif, daya reaktif, faktor daya (PF), tegangan antar fasa (VLL), dan frekuensi yang dicatat secara konsisten. Berdasarkan dari hasil pengukuran beban maksimum yang tercatat adalah 205,3 kW atau 84% dari kapasitas normal sebesar 280 kW tanpa gangguan atau fluktuasi yang signifikan.

Untuk mengevaluasi kepatuhan terhadap standar ISO 8528-5:2025, parameter kunci berupa daya aktif (P), daya reaktif (Q), faktor daya (PF), daya semu (S), tegangan antar fasa (VLL), deviasi tegangan (ΔV), frekuensi (f), deviasi frekuensi (Δf), dan unbalance arus (I unbalance) dicatat untuk setiap interval pengukuran. Tabel 2. menunjukkan data pengujian kapasitas genset selama interval waktu yang telah ditentukan.



Gambar 3. Nilai uji beban genset (85 kw/30% dan 205,3 kW/84%)

Berdasarkan uji kapasitas mampu pada genset maka didapatkan rekapitulasi data dan metrik turunan kinerja yang disusun pada Tabel 2.

Tabel 1. Data rekapitulasi uji kapasitas mampu dan metrik turunan kinerja

Interval	P (kW)	Q (kVAr)	PF	S (kVA)	VLL (V)	ΔV (%)	f (Hz)	Δf (Hz)	I unbalance (%)
13.10-13.20	83.0	42.0	0.91	93.0	388	-3.00	49.98	-0.02	10.87
13.20-13.30	85.0	43.0	0.90	95.3	388	-3.00	50.02	+0.02	10.12
13.30-13.40	200.6	81.2	0.92	216.4	388	-3.00	49.99	-0.01	0.52
13.40-13.50	179.6	87.0	0.91	199.6	388	-3.00	50.00	0.00	1.72
13.50-14.00	205.3	87.6	0.91	223.2	388	-3.00	49.99	-0.01	0.80

Berdasarkan Analisa ketidakseimbangan arus dapat diketahui bahwa pada beban rendah (83–85 kW), ketidakseimbangan arus berkisar antara 10% hingga 11%. Namun, pada beban yang lebih tinggi (179,6–205,3 kW), ketidakseimbangan arus menurun menjadi kurang dari 2%. Penurunan ketidakseimbangan ini mengindikasikan bahwa distribusi beban antar fasa semakin seimbang saat beban meningkat. Ketidakseimbangan arus yang berlebihan pada beban parsial tidak hanya memperburuk efisiensi termal, tetapi juga berpotensi menciptakan gaya tarik magnetik yang tidak merata pada rotor, yang pada gilirannya akan teramplifikasi menjadi getaran struktural berlebih sebagaimana diamati dalam pemodelan dinamika vibrasi mesin diesel (Gollamudi et al., 2024).

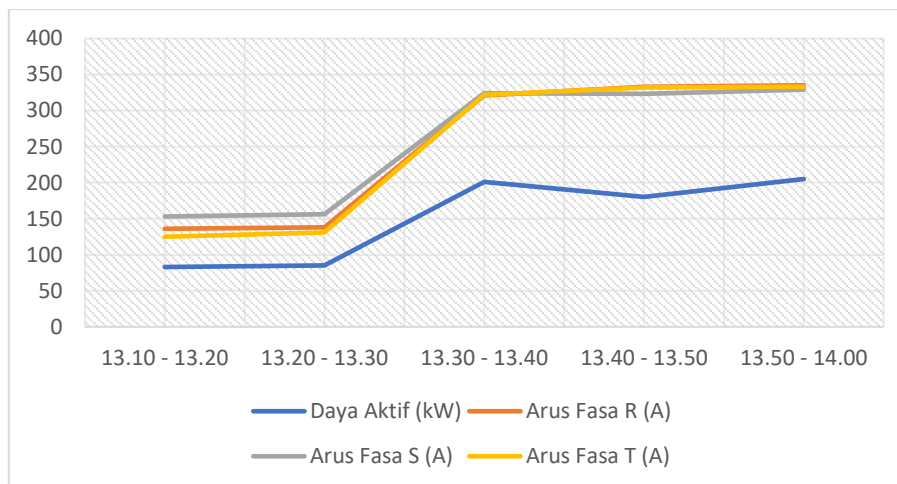
Profil Pembebanan dan Kualitas Daya

Selain kemampuan dalam menjaga stabilitas tegangan dan frekuensi sesuai dengan standar ISO 8528-5:2025, kelayakan operasional suatu unit generator secara mendasar juga dipengaruhi oleh pola pembebanan serta kualitas daya yang disalurkan ke dalam sistem. Ketidakseimbangan arus fasa akibat variasi beban, hubungan antara daya aktif, reaktif, dan daya semu selama proses pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Analisis Pembebanan dan Kualitas Daya

Interval	Daya Aktif (kW)	Arus Fasa R (A)	Arus Fasa S (A)	Arus Fasa T (A)
13.10 - 13.20	83	136	153	125
13.20 - 13.30	85	138	156	131
13.30 - 13.40	201	321	324	322
13.40 - 13.50	180	333	323	332
13.50 - 14.00	205	335	329	333

Dari hasil pengukuran dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa pengelolaan distribusi beban yang merata antar fasa sangat penting dilakukan, terutama saat beroperasi pada beban parsial. Pemantauan ketidakseimbangan arus yang cermat dapat membantu meningkatkan efisiensi operasional genset dan mengurangi risiko kerusakan komponen yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban. Gambar 2 memperlihatkan profil daya aktif (kW) dan arus fasa (A) selama uji kapasitas, yang menunjukkan fluktuasi antara berbagai interval pengukuran dan menggambarkan perubahan dalam ketidakseimbangan arus sesuai dengan beban yang diterapkan.

**Gambar 4.** Profil Pembebanan dan Kualitas Daya

Untuk memastikan konsistensi pencatatan daya reaktif (Q) terhadap faktor daya (PF), maka dilakukan perhitungan kembali daya reaktif (Q_{calc}) yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pemeriksaan Daya Terukur terhadap Daya Reaktif

Interval	P (kW)	PF	Q Terukur (kVar)	Q diff (kVar)
13.10 - 13.20	83.0	0.91	42.0	4.2
13.20 - 13.30	85.0	0.90	43.0	1.8
13.30 - 13.40	200.6	0.92	81.2	-4.3
13.40 - 13.50	179.6	0.91	87.0	5.2
13.50 - 14.00	205.3	0.91	87.6 -	-5.9

Data diatas menunjukkan perbandingan antara daya reaktif yang terukur dan daya reaktif yang dihitung, dengan selisih yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa data yang tercatat konsisten dan valid pada tingkat pengukuran yang telah dilaksanakan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa unit generator set (genset) diesel berkapasitas 350 kVA telah memenuhi standar kelaikan operasi berdasarkan ISO 8528-5:2025 untuk Kelas Performa G3. Hal ini ditunjukkan oleh stabilitas frekuensi yang sangat baik dengan deviasi maksimum hanya $\pm 0,02$ Hz (0,04%) dari frekuensi nominal 50 Hz pada kondisi beban stabil (*steady-state*). Pengujian kapasitas menunjukkan bahwa genset mampu beroperasi hingga beban puncak sebesar 205,3 kW atau sekitar 84% dari kapasitas aktifnya, sekaligus mempertahankan regulasi tegangan pada level 388 V dengan deviasi sebesar -3% dari nilai nominal 400 V, yang masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan untuk operasional infrastruktur kritis. Selain itu, analisis ketidakseimbangan arus (*current unbalance*) menunjukkan adanya hubungan linier dengan tingkat pembebanan. Pada rentang beban tinggi, yaitu 179,6–205,3 kW, nilai ketidakseimbangan arus berhasil dipertahankan di bawah 2%, sehingga dapat mengurangi potensi munculnya arus urutan negatif (*negative sequence current*) dan risiko degradasi termal pada rotor. Hasil pengukuran daya aktif, daya reaktif, dan daya semu juga menunjukkan tingkat konsistensi yang tinggi, dengan perbedaan yang sangat kecil antara hasil pengukuran langsung dan perhitungan teoritis. Oleh karena itu, data yang diperoleh dinyatakan valid dan mendukung kesimpulan bahwa sistem genset yang diuji memiliki tingkat kelaikan operasi yang baik sesuai standar yang berlaku.

Untuk menjaga kinerja dan keandalan sistem, disarankan agar profil pembebanan operasional genset dipertahankan pada kisaran 60% hingga 85% dari kapasitas aktif guna memastikan distribusi arus antar fase tetap seimbang serta menjaga efisiensi termal mesin pada kondisi optimal. Selain itu, penerapan program pemeliharaan berbasis inspeksi rutin dan pengujian fungsi komponen proteksi, seperti MCCB dan MCB, perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan. Audit beban pada panel distribusi utama juga perlu dilaksanakan secara berkala untuk memantau kemungkinan terjadinya ketidakseimbangan arus, mengingat kondisi tersebut dapat menyebabkan getaran mekanis berlebih, meningkatkan kerugian daya, serta memperpendek umur teknis komponen genset. Di masa mendatang, protokol pemeliharaan preventif sebaiknya mencakup pengujian transien secara khusus untuk mengukur penurunan tegangan (*voltage dip*) dan waktu pemulihan (*recovery time*), sehingga responsivitas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dan *Electronic*

Governor terhadap perubahan beban mendadak (*load step*) dapat dievaluasi dan dipastikan tetap sesuai dengan persyaratan standar ISO.

DAFTAR REVERENSI

- Agung, R., & Prihono. (2023). Peningkatan produktivitas pabrik kertas dengan mempertimbangkan power faktor dan menggunakan kapasitor bank di PT Dayasa Aria Prima. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 8(2).
- Arsy, S., & Murti, B. (2021). Evaluasi keselamatan kerja listrik laboratorium permesinan kapal Universitas Maritim AMNI Semarang dengan metode analytical network process (ANP). *Dinamika Bahari*, 2(1), 28–38. <https://doi.org/10.46484/db.v2i1.253>
- Atika, D., & Muhammad, R. (2024). Analisis variasi beban terhadap performansi mesin diesel. *Hikamatzu Journal of Multidisciplinary*, 1, 86. <https://yasyahikamatzu.com/index.php/hjm/article/view/112/107>
- Basuki, B. M. (2025). Model perawatan generator di PLTU Paiton menggunakan metode Naive Bayes. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, 3(4), 231–241. <https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i4.1002>
- Bulatov, Y., Kryukov, A., & Suslov, K. (2023). Effect of unbalanced and non-linear loads on operation of the turbogenerator of a distributed generation unit. *Applied Sciences*, 13(6), Article 3643. <https://doi.org/10.3390/app13063643>
- Gollamudi, A. A., Sai, N., Koka, S., Bhatti, K., & Sagari, J. (2024). Vibration and noise of diesel engine using *Calophyllum inophyllum* biodiesel and MoO₃ nanoparticles: Experimental and machine learning study. *International Journal of Fatigue and Fracture Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100925>
- International Organization for Standardization. (2025). *ISO 8528-5:2025 reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets—Part 5: Generating sets*.
- Khalili, M., Dashtaki, M. A., Nasab, M. A., Hanif, H. R., Padmanaban, S., & Khan, B. (2022). Optimal instantaneous prediction of voltage instability due to transient faults in power networks taking into account the dynamic effect of generators. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2072568>
- Maqshudi, H., Ayuningtyas, B., & Elektro, T. (2026). Preventif maintenance genset Perkins 2806A-E18TAG2 + Stamford HCI544F di Apartement Paradise Mansion. *Energi*, 2(1). <https://jurnal.undira.ac.id/energi/Page>
- Mubarok, A., Al Amin, M. S., Kartika, F. I., & Irwansi, Y. (2025). Analisis gangguan hubungan singkat pada generator menggunakan relay arus lebih di PT Oki Pulp and Paper. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, 3(2), 58–68. <https://doi.org/10.61132/mars.v3i2.757>
- Palembangan, H. S., Yuliana, L., Rekoyoso, B., & Zulfikar, I. (2025). Inspeksi dan penilaian kelayakan pada panel listrik di tempat kerja berdasarkan standar K3 listrik di PT XCV. *EUNOIA: Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Putra, A. R., & Mahmudin, M. (2025). Pengaruh kecepatan jaringan internet terhadap AI image generator. *Repeater: Publikasi Teknik Informatika dan Jaringan*, 3(3), 1–18. <https://doi.org/10.62951/repeater.v3i3.429>

- Ramadhan, H. G., Akil, Y. S., & Gunadin, I. C. (2022). Analisis aliran daya menggunakan metode fuzzy logic pada sistem listrik Sulbagsel. *Jurnal Eksitasi*, 1(2).
- Salim Siregar, M., Irwan, A., & Ibrahim, H. (n.d.). Analisis pemeliharaan berkala pada motor diesel generator set daya 90 kVA sebagai energi listrik cadangan UPT Rumah Sakit Khusus Paru. *SINERGI Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- Saputra, W. B. B., Darmawan, N., & Sukowati, I. D. (n.d.). Pengaruh pembebanan terhadap life-time transformator distribusi 50 kV pada penyulang LMS01 Kelurahan Tambakreja ULP Cilacap Kota.
- Sinay, G. S., Gobel, J., Djafar, R., Umela, S., & Djamalu, Y. (n.d.). Studi eksperimen pengaruh putaran mesin diesel terhadap daya generator terintegrasi reaktor tipe fixed bed. *JEME*, 2(2).
- Sinay, P. (2025). Kajian motor tak serempak tiga fasa sebagai generator satu fasa dalam penerapan teknologi efisiensi energi. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, 3(4), 264–284. <https://doi.org/10.61132/mars.v3i4.1023>
- Wijaya, J., Pelu, M. I. S., Sunardi, S., Amalia, D., & Suprihartini, Y. (2025). Peran pemeliharaan preventif dalam menjaga kinerja dan umur genset: Studi kasus di Politeknik Penerbangan Palembang. *SKY EAST: Education of Aviation Science and Technology*, 3(2), 345–356. <https://doi.org/10.61510/skyeast.v3i2.62>
- Wijaya, R. N. P., Hadi, S., Ramadhon, M. R. M., Erlangga, B., Azizi, Y. N., & Rifqi, H. S. (2025). Perencanaan penggantian komponen generator listrik daya 2,5 kW. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 3(4), 31–41. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v3i4.1274>
- Zulpanuri, V. E., Muljono, A. B., Nrratha, I. M. A., Teknik, J., & Mataram, U. (n.d.). Analisis unjuk kerja sistem distribusi akibat ketidakseimbangan beban menggunakan software ETAP (*Performance analysis of distribution systems resulting from load imbalance using ETAP software*).