

ANALISIS POLA OPERASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL LAMAHORA BERDASARKAN PERFORMA DAN SPECIFIC FUEL CONSUMPTION

I Gede Guntur Saputra, I Wayanutama, I Wayan Sukadana, Agus Putu Abiyasa

Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Nasional
Jl. Bedugul No.39, Sidakarya, Kota Denpasar, Bali, Indonesia
guntursaputra22@gmail.com

ABSTRAK

Ketersediaan energi listrik yang andal dan efisien sangat penting bagi keberlangsungan pelayanan kelistrikan, khususnya pada sistem pembangkitan diesel di wilayah terpencil. PLTD Lamahora sebagai unit pembangkitan milik PLN berperan strategis dalam menjaga keandalan pasokan listrik di wilayah Pulau Lembata. Permasalahan yang dihadapi adalah perbedaan efisiensi antar mesin diesel serta belum optimalnya pola operasi berbasis kondisi aktual mesin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa mesin diesel PLN di PLTD Lamahora berdasarkan nilai Specific Fuel Consumption (SFC), menentukan mesin dengan efisiensi terbaik sebagai prioritas operasi, serta menyusun pola operasi optimum berbasis merit order. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data hasil uji performa mesin dan data pembebanan harian sistem. Analisis difokuskan pada perbandingan nilai SFC sebagai indikator efisiensi bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SFC mesin diesel berada pada rentang 0,250–0,320 L/kWh. Mesin Cummins memiliki efisiensi tertinggi dengan nilai SFC 0,250–0,259 L/kWh dan direkomendasikan sebagai baseload. Mesin dengan SFC menengah 0,270–0,295 L/kWh berfungsi sebagai pengisi beban, sedangkan mesin dengan SFC di atas 0,300 L/kWh ditempatkan sebagai unit siaga. Penerapan merit order berbasis SFC berpotensi meningkatkan efisiensi bahan bakar dan keandalan sistem PLTD Lamahora.

Kata kunci: Pemangkit Listrik Tenaga Diesel, Specific Fuel Consumption (SFC), Pola Operasi, Merit Order

1. PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang berperan dalam penyelenggaraan usaha ketenagalistrikan nasional, mulai dari pembangkit listrik, transmisi hingga pendistribusian tenaga listrik kepada pelanggan. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi, peningkatan aktivitas masyarakat, dan perkembangan wilayah, kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan, sehingga menuntut ketersediaan sistem pembangkitan dan infrastruktur kelistrikan yang andal dan efisien. Pada wilayah kepulauan dan daerah terpencil di Indonesia, sistem kelistrikan umumnya beroperasi dalam kondisi *isolated* atau sistem terpisah, dimana kondisi tersebut tidak terhubung dengan jaringan interkoneksi utama PLN [1].

Salah satu penerapan sistem kelistrikan *isolated* berada di Kabupaten Lembata, Provinsi Nusa Tenggara Timur, di mana seluruh kebutuhan energi listrik dipenuhi oleh pembangkit lokal mandiri, yaitu PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) Lamahora. Pembangkit ini berfungsi sebagai sumber utama penyedia energi listrik bagi rumah tangga, fasilitas pelayanan publik, serta kegiatan ekonomi masyarakat Pulau Lembata. Konfigurasi dari PLTD Lamahora terdiri dari kombinasi mesin milik PLN dan unit sewa dari PT Thas Power serta PT Sun Power Intim. Total daya mampu unit sewa hanya mencapai 3.700 kW, jauh di bawah beban sistem rata-rata 6.757 kW dan beban puncak 7.202 kW, sehingga terjadi defisit daya sebesar 3.502 kW yang harus dipenuhi oleh mesin milik PLN dengan total daya mampu 4.035 kW.

Dalam kondisi defisit daya tersebut, mesin milik PLN beroperasi secara kontinu dan berperan sebagai penopang utama sistem, bukan hanya sebagai unit cadangan. Mesin PLN dijalankan setiap hari untuk menutupi kekurangan pasokan yang tidak dapat dipenuhi oleh unit sewa, sehingga keandalan dan efisiensi operasionalnya menjadi faktor penting. Di satu sisi, hingga saat ini belum tersedia kajian teknis maupun standar operasional prosedur yang mengatur pola pengoperasian mesin secara optimal. Pengoperasian masih bersifat manual dan bergantung pada pengalaman operator, tanpa mempertimbangkan parameter performa dan efisiensi mesin, yang berpotensi menyebabkan pemborosan bahan bakar, ketidakseimbangan beban kerja, serta penurunan umur pakai mesin [2][3].

Salah satu indikator nyata dari permasalahan efisiensi yaitu tingginya nilai SFC (*Specific Fuel Consumption*) mesin PLN pada bulan Januari 2025 yang tercatat mencapai 0,284 L/kWh. Hal tersebut menunjukkan tingginya konsumsi bahan bakar per satuan energi listrik yang dihasilkan dan berdampak langsung pada peningkatan biaya operasional pembangkitan [4]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian teknis yang terukur melalui pengujian performa pada setiap unit mesin PLN di PLTD Lamahora.

Hasil penelitian diharapkan menjadi landasan dalam penyusunan pola operasi optimum yang menentukan prioritas pengoperasian mesin PLN berdasarkan tingkat efisiensi di lapangan. Penerapan pola tersebut memungkinkan pengelolaan sistem kelistrikan PLTD Lamahora yang lebih efisien, serta

mendukung upaya PLN dalam mewujudkan penyediaan energi andal dan hemat biaya di sistem kelistrikan *isolated* wilayah Indonesia Timur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas efisiensi pengoperasian PLTD pada sistem *isolated*, antara lain studi Susilo dan Suhariyanto yang menganalisis skenario pola operasi PLTD Gili Iyang untuk meningkatkan keandalan pasokan [5], serta penelitian Widagdo yang menunjukkan bahwa pengaturan pola pembebanan mesin diesel dapat menurunkan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) secara signifikan [6]. Pada penelitian ini memiliki keterbaruan dengan menggunakan data *performance test* lapangan aktual mesin PLN, mencakup, tekanan dan temperatur oli, RPM, sistem pendingin, tegangan, frekuensi, serta konsumsi bahan bakar, sehingga merepresentasikan kondisi nyata mesin secara menyeluruh. Selain itu, penelitian ini berfokus pada optimasi mesin cadangan milik PLN dalam sistem *isolated* yang didominasi unit sewa, serta menyusun pola operasi dinamis berbasis nilai SFC terbaik pada variasi beban harian.

2.1. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)

Pembangkit listrik merupakan rangkaian peralatan dan mesin yang berfungsi mengonversi energi primer menjadi energi listrik, yang umumnya dihasilkan dalam bentuk tegangan arus bolak-balik tiga fasa (AC) melalui penggunaan generator sinkron sebagai penggerak utama. Salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak ditemui yaitu PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel).

PLTD adalah sistem pembangkit yang memanfaatkan mesin diesel sebagai penggerak generator melalui proses pembakaran internal untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik. PLTD banyak diterapkan pada daerah terpencil karena kemudahan instalasi, waktu *start* yang cepat, serta kemampuan merespons perubahan beban secara fleksibel. Namun demikian, PLTD menghadapi keterbatasan berupa konsumsi bahan bakar yang relatif

tinggi, biaya operasi dan perawatan yang besar, serta dampak emisi, sehingga diperlukan pengelolaan operasi dan pemeliharaan yang optimal guna meningkatkan efisiensi dan menjaga kinerja pembangkit [7].

2.2. Mesin Diesel

Mesin listrik diesel merupakan perangkat pembangkit tenaga listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*) untuk memutar generator listrik, sehingga energi kimia dari bahan bakar diesel diubah menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh mesin diesel dinyatakan dalam daya output aktif (kW), yang merepresentasikan kemampuan mesin dalam menyuplai beban listrik pada sistem. Persamaan dasar yang digunakan mencari daya aktif tiga fasa ditunjukkan pada (1), sedangkan perhitungan untuk energi listrik (kWh) yaitu pada persamaan (2) [8][9].

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

$$E = \frac{V \times I \times \cos \phi \times t \text{ (sekon)}}{3600} \quad (2)$$

2.3. SFC (Specific Fuel Consumption)

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah parameter kinerja yang menyatakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi untuk menghasilkan satu satuan energi listrik dalam periode tertentu [10]. Pada pembangkit listrik tenaga diesel, SFC umumnya dinyatakan dalam satuan liter/kWh dengan persamaan (3).

$$SFC = \frac{KONSUMSI \text{ BBM } \left(\frac{LITER}{JAM} \right)}{DAYA \text{ OUTPUT (W)}} \quad (3)$$

Nilai SFC dihitung untuk setiap level beban (misalnya 50%, 75%, dan 100%) pada masing-masing mesin, sehingga diperoleh profil efisiensi bahan bakar terhadap beban kemudian dibandingkan mengacu pada tabel 2 (SPLN 79;1987).

Tabel 1. Standar pemakaian bahan bakar mesin diesel

Kelas SPD	Beban 100% (Liter/kWh)	Beban 75% (Liter/kWh)	Beban 50% (Liter/kWh)
Kelas 100 kW	0,284 – 0,321	0,284 – 0,345	0,296 – 0,370
Kelas 250 kW	0,284 – 0,308	0,284 – 0,321	0,296 – 0,358
Kelas 500 kW	0,271 – 0,296	0,271 – 0,308	0,284 – 0,321
Kelas 750 kW	0,259 – 0,284	0,259 – 0,296	0,271 – 0,308
Kelas 1.000 kW	0,247 – 0,271	0,247 – 0,284	0,259 – 0,296
Kelas 2.500 kW	0,241 – 0,265	0,241 – 0,259	0,247 – 0,271

2.4. Parameter Performa Mesin Diesel

Kinerja dan efisiensi mesin diesel dinilai melalui pengujian performa (*performance test*) yang bertujuan mengevaluasi kemampuan operasi mesin secara optimal. Parameter utama yang diukur meliputi tegangan (V), frekuensi (Hz), putaran mesin (RPM),

temperatur air pendingin (°C) dan oli pelumas serta tekanan oli (bar atau psi), beban keluaran (kW), serta konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghitung nilai SFC (liter/kWh) [11][12]. Berikut merupakan nilai rujukan parameter performa yang ditetapkan pada tabel 2.

Tabel 2. Standar parameter performa mesin diesel

Parameter	Nilai Rujukan
Tekanan Pelumas	Minimal 4,2 bar sebagai ambang pemeriksaan/pengujian PLTD untuk kelayakan operasi menurut SPLN 47-4:1984
Temperatur pendingin	Maksimal temperatur sebesar ~85 °C merujuk SPLN 47-4:1984, namun pada skala pabrikan menyebut rentang kerja ~70–95 °C tergantung desain.
Temperatur oli pelumas	Temperatur oli bekerja aman sampai kisaran ~80–100 °C
Frekuensi	Batas frekuensi sebesar 50 Hz (untuk sistem PLN di Indonesia) dengan toleransi $\pm 0.1-0.5$ Hz tergantung kebijakan operasi.
RPM	Sesuai rpm nominal nameplate mesin seperti contoh 1500 rpm untuk 50 Hz.
SFC	Parameter SFC ditentukan oleh kelas SPD dari 100 kW – 2500 kW menurut SPLN 79:1987
Tegangan	Nilai Tegangan dari generator menyesuaikan dengan nameplate generator

2.5. Pola Operasi PLTD

Penjadwalan dan penentuan prioritas operasi pembangkit merupakan proses pengaturan penggunaan unit mesin secara sistematis untuk memenuhi kebutuhan beban secara andal dan efisien, dalam menjaga kontinuitas pasokan dan efisiensi bahan bakar. Berikut merupakan pola pengoperasian PLTD sesuai standarnya [13]

a. Penjadwalan Operasi (Scheduling)

Penjadwalan operasi merupakan pengaturan waktu penyalaan, durasi operasi, dan penghentian unit mesin berdasarkan pola beban harian dan perkiraan kebutuhan daya. Tujuan utama penjadwalan adalah mengoperasikan mesin pada rentang beban optimal agar konsumsi bahan bakar lebih efisien dan beban kerja mesin merata. Secara umum, pola beban harian dibagi menjadi periode beban minimum, beban menengah, dan beban puncak.

b. Prioritas Operasi

Prioritas operasi ditetapkan berdasarkan tingkat efisiensi dan kondisi teknis mesin. Unit dengan nilai Specific Fuel Consumption (SFC) lebih rendah dan performa stabil ditempatkan sebagai prioritas utama, sedangkan unit lainnya berfungsi sebagai cadangan atau penyeimbang saat terjadi peningkatan beban atau gangguan. Penentuan prioritas bersifat dinamis dan dapat berubah sesuai kondisi teknis terkini, kebutuhan pemeliharaan, ketersediaan bahan bakar, serta fluktuasi beban sistem.

c. Strategi Merit Order Operation

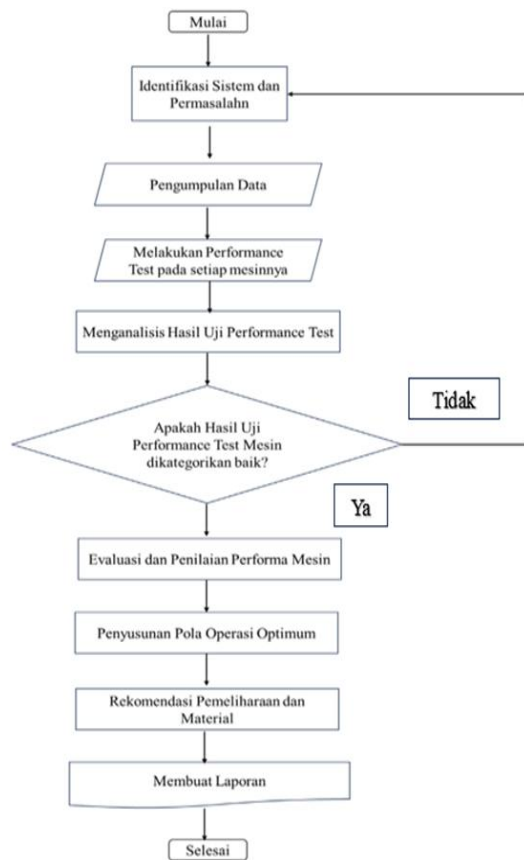
Merit order operation merupakan strategi pengoperasian pembangkit berdasarkan urutan efisiensi biaya produksi energi. Mesin dengan biaya pembangkitan terendah per kWh, yang umumnya ditunjukkan oleh nilai SFC paling rendah, diprioritaskan untuk beroperasi terlebih dahulu. Penerapan strategi ini mendukung penghematan bahan bakar dan biaya operasional, sehingga meningkatkan keandalan dan keberlanjutan operasi pembangkit pada sistem isolated seperti PLTD Lamahora.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PLTD Lamahora, yang terletak di Jalan Trans Lembata, Kecamatan Nubatukan, Kabupaten Lembata, Provinsi Nusa Tenggara Timur, dalam rentang waktu bulan Juli 2025 hingga Januari 2026. Dalam melakukan penelitian ini, ada beberapa tahapan atau prosedur yang harus dilalui, yaitu:

- Studi Pendahuluan dan Pengumpulan Data**
Tahap awal dilakukan melalui studi literatur dan survei lapangan untuk memahami karakteristik sistem kelistrikan isolated di PLTD Lamahora.
- Perencanaan dan Persiapan *Performance Test***
Menyusun rencana pengujian performa seluruh mesin diesel milik PLN dengan menetapkan parameter teknis yang diuji.
- Pelaksanaan Pengujian Performa Mesin**
Pengujian performa dilakukan langsung di lapangan dengan menjalankan mesin pada kondisi beban tertentu, yaitu 50%, 75%, dan 100% dari kapasitas terpasang.
- Perhitungan Specific Fuel Consumption (SFC)**
Nilai SFC dihitung berdasarkan data konsumsi bahan bakar dan daya output pada setiap tingkat beban guna mengidentifikasi titik operasi mesin yang paling efisien sebagai dasar penentuan prioritas pengoperasian.
- Analisis dan Evaluasi Performa Mesin**
Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai efisiensi dan kondisi teknis mesin berdasarkan nilai SFC serta kestabilan parameter operasi, sehingga mesin dapat diklasifikasikan sebagai unit prioritas atau cadangan.
- Penyusunan Pola Operasi Optimum**
Penyusunan pola operasi optimum dengan menyesuaikan fluktuasi beban harian dan efisiensi mesin, dengan memprioritaskan unit yang memiliki performa terbaik pada kondisi beban tertentu.
- Identifikasi Kebutuhan Pemeliharaan dan Material**
Hasil pengujian juga digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pemeliharaan dan material berdasarkan indikasi penyimpangan parameter operasi dari kondisi normal.
- Analisis Hasil dan Penyusunan Laporan**

Alur penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk flowchart seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Eksisting PLTD Lamahora

Konfigurasi sistem eksisting pada PLTD Lamahora terdiri atas mesin milik PLN dan unit sewa

dari PT Thas Power serta PT Sun Power Intim. Daya mampu aktual dari kedua penyedia sewa hanya mencapai 3.700 kW, jauh di bawah kebutuhan beban puncak sistem sebesar 7.202 kW akibat sebagian unit mengalami gangguan. Kondisi ini menyebabkan mesin-mesin PLN dengan total daya mampu 4.035 kW harus beroperasi secara kontinu, tidak hanya sebagai cadangan tetapi sebagai pembangkit utama, untuk menutupi defisit daya dan menjaga keandalan pasokan listrik. Pada tabel 3 merupakan daftar mesin milik PLN di PLTD Lamahora.

4.2. Hasil Pengujian Mesin Diesel PLN

Pengujian performa mesin diesel generator dilakukan melalui performance test bertingkat (50%, 75%, dan 100%) untuk mengevaluasi kestabilan operasi, efisiensi bahan bakar, serta kesehatan sistem mekanik dan kelistrikan. Berdasarkan hasil pengujian terhadap sembilan unit mesin diesel generator, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar mesin menunjukkan kinerja yang stabil dan efisien terutama pada pembebanan menengah hingga penuh. Mesin Cummins KTA50G8, Komatsu Mobile, MTU 12V2000G20F, dan MAN D2842LE201 memiliki performa terbaik ditinjau dari kestabilan frekuensi, tekanan oli yang aman, serta nilai Specific Fuel Consumption yang rendah. Sebaliknya, mesin Komatsu SAA6D-170P-800, CAT C32, dan Yanmar 6N165L menunjukkan indikasi degradasi kinerja serius berupa kenaikan temperatur oli, penurunan tekanan pelumas, ketidakstabilan SFC, serta temuan mekanis seperti blow-by, kebocoran udara, dan kegagalan proteksi, sehingga memerlukan tindakan korektif atau overhaul sebelum dioperasikan secara kontinu. Pada tabel 4 merupakan data rangkuman hasil pengujian performa mesin PLN.

Tabel 3. Daftar spesifikasi mesin diesel PLN PLTD Lamahora

No	Merk	Tipe Mesin	No Seri	Daya Terpasang	Daya Mampu Aktual
1	Komatsu Mobile	SAA6D140- P580	4230327	500	350
2	Cummins	KTA-50-G8	25426813	1292	850
3	Cummins	KTA-50-G8	25426647	1292	850
4	MTU 18 V	18V2000G62	539100418	780	450
5	Komatsu	SAA.6.D-170.P.800	21898	500	280
6	MTU 12 V	12V2000G20F	535102017	500	375
7	Man	D2842LE201	49412762801277	500	350
8	Catterpillar	C32	SYC01796	700	380
9	Yanmar	6029FJG	6029FJG	305	150
10	MTU 12 V	12V2000G65	535301223	FO	FO

Tabel 4. Hasil pengujian mesin diesel PLN PLTD Lamahora

Mesin	Beban (%)	Daya (kW)	Arus (A)	Teg. (V)	Frek. (Hz)	RPM	Temp. Air/Oli (°C)	Tekanan Oli (bar)	Konsumsi BBM (L)	Energi (kWh)	SFC (L/kWh)
Mesin I	50	175	118	392	50,1	1500	74 / 94	4,85	20	59,3	0,337
	75	262	388	392	50	1502	74 / 99	4,75	40	135,8	0,295
	100	350	520	393	50,1	1501	74 / 96	4,75	43	153,4	0,280
Mesin II	50	425	624	391	50,08	1502	74 / 78	63,8	40	146	0,273
	75	745	925	392	50,1	1500	78 / 82	59,7	85	316	0,268
	100	850	1174	393	50,1	1503	80 / 86	58	140	559	0,250

Mesin	Beban (%)	Daya (kW)	Arus (A)	Teg. (V)	Frek. (Hz)	RPM	Temp. Air/Oli (°C)	Tekanan Oli (bar)	Konsumsi BBM (L)	Energi (kWh)	SFC (L/kWh)
Mesin III	50	425	625	394	50,1	1503	73 / 78	71,9	50	195	0,256
	75	635	929	394	50,1	1508	78 / 85	68,4	80	300	0,267
	100	850	1179	396	50,1	1507	80 / 88	65,5	100	386	0,259
Mesin IV	50	225	349	387	50	1502	75 / 90	7,2	30	124,7	0,241
	75	338	538	386	50	1500	80 / 100	7	45	172	0,262
	100	450	718	386	50,1	1501	85 / 106	6,9	55	206,2	0,267
Mesin V	50	140	225	389	50	1503	69 / 94	3	20	64	0,312
	75	210	330	390	50	1503	70 / 99	2,8	30	103	0,291
	100	280	390	390	50	1502	68 / 99	2,6	35	128	0,273
Mesin VI	50	189	268	390	50,1	1500	80 / 83	6,2	30	95	0,315
	75	281	420	391	50,2	1501	82 / 93	6,1	50	160	0,312
	100	375	540	391	50,1	1502	83 / 93	5	50	177	0,282
Mesin VII	50	175	263	388	50,1	1500	65 / 77	7,2	30	84,2	0,356
	75	264	392	387	50,1	1501	79 / 90	6	40	138,6	0,289
	100	351	524	387	50,1	1500	89 / 97	5,8	50	181,5	0,275
Mesin VIII	50	190	300	391	50	1500	60 / 103	458	40	110	0,364
	75	285	409	392	50	1500	67 / 103	444	40	133,7	0,299
	100	380	580	392	50	1500	78 / 105	444	50	129,9	0,385
Mesin XI	50	75	119	392	50	1000	66 / 84	4	20	48	0,417
	75	113	189	393	50	1000	71 / 90	3,9	40	80	0,500
	100	150	250	394	50	1000	78 / 93	3,5	40	112	0,357

Tabel 5. Pola operasi mesin diesel pembangkitan PLN PLTD Lamahora

Pukul	Total Beban PLN	Yanmar	Man	MTU 18 V	Caterpillar	MTU 12 V	Komatsu	Cummins (813)	Cummins (647)	Komatsu Mobile
00:00	1657	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	828	829	STDBY
01:00	1468	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	734	734	STDBY
02:00	1354	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	677	677	STDBY
03:00	1260	STDBY	STDBY	450	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	810	STDBY
04:00	1258	STDBY	STDBY	450	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	808	STDBY
05:00	1695	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	845	850	STDBY
06:00	1820	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	220	800	800	STDBY
07:00	910	STDBY	350	STDBY	STDBY	STDBY	210	STDBY	STDBY	350
08:00	691	STDBY	STDBY	450	STDBY	STDBY	241	STDBY	STDBY	STDBY
09:00	652	STDBY	HAR	430	STDBY	STDBY	222	STDBY	HAR	STDBY
10:00	593	STDBY	HAR	370	STDBY	STDBY	223	STDBY	HAR	STDBY
11:00	627	STDBY	350	HAR	STDBY	STDBY	277	HAR	STDBY	STDBY
12:00	544	STDBY	330	HAR	STDBY	STDBY	214	HAR	STDBY	STDBY
13:00	389	STDBY	STDBY	389	HAR	STDBY	HAR	STDBY	STDBY	STDBY
14:00	439	STDBY	STDBY	439	HAR	STDBY	HAR	STDBY	STDBY	STDBY
15:00	381	STDBY	STDBY	381	STDBY	HAR	STDBY	STDBY	STDBY	HAR
16:00	438	STDBY	STDBY	438	STDBY	HAR	STDBY	STDBY	STDBY	HAR
17:00	726	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	726	STDBY	STDBY
18:00	2926	STDBY	350	440	STDBY	STDBY	230	800	800	306
19:00	3760	STDBY	350	450	300	370	240	850	800	350
20:00	2976	STDBY	350	450	STDBY	STDBY	276	800	800	300
21:00	2639	STDBY	350	440	STDBY	STDBY	249	800	850	STDBY
22:00	2249	STDBY	350	STDBY	STDBY	STDBY	249	800	850	STDBY
23:00	1895	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	STDBY	245	800	850	STDBY

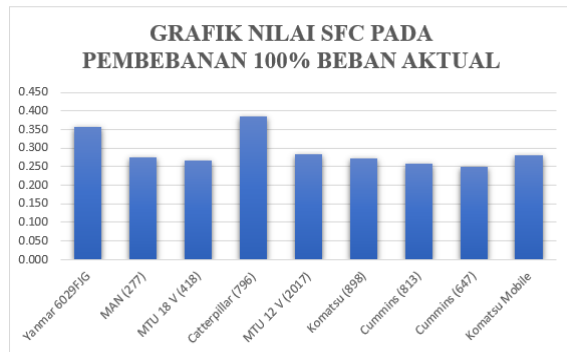
4.3. Hasil Perbandingan Nilai *Specific Fuel Consumption*

Dari hasil perbandingan nilai SFC pada pembebanan 100% beban aktual yang ditunjukkan pada gambar 2, dapat diketahui bahwa Mesin Cummins (647), Cummins (813), dan MTU 18V (418) menunjukkan efisiensi tertinggi dengan nilai SFC

masing-masing 0,250; 0,259; dan 0,267, yang menandakan kondisi teknis dan proses pembakaran yang sangat baik. Mesin dengan efisiensi sedang, yaitu Komatsu (898), MAN (277), MTU 12V (2017), dan Komatsu Mobile, memiliki SFC pada kisaran 0,273–0,282 dan masih tergolong efisien meskipun terdapat

penurunan performa ringan akibat jam operasi dan gangguan minor.

Sebaliknya, pada mesin Caterpillar (796) dan Yanmar 6029FJG memiliki efisiensi terendah dengan nilai SFC masing-masing 0,385 dan 0,357, yang menunjukkan penurunan efisiensi signifikan akibat gangguan pada sistem pembakaran dan suplai bahan bakar.



Gambar 2. Grafik nilai SFC mesin diesel PLN

4.4. Hasil Analisis Merit Order

Analisis merit order digunakan untuk menyusun prioritas operasi mesin pembangkit berdasarkan

efisiensi bahan bakar yang ditunjukkan oleh nilai SFC. Hasil analisis merit order pada tabel 6 menunjukkan bahwa, mesin Cummins 647 menempati peringkat pertama dengan nilai SFC terendah sebesar 0,250, diikuti oleh Cummins 813 dengan SFC 0,259. Kedua mesin ini memiliki efisiensi sangat baik dan kondisi operasional yang stabil, sehingga layak dijadikan prioritas utama pengoperasian. Peringkat berikutnya ditempati oleh MTU 18V (418) dengan SFC 0,267 yang masih tergolong efisien dan andal sebagai mesin utama pendukung. Komatsu 898 berada di urutan selanjutnya dengan SFC 0,273, yang meskipun masih efisien, menunjukkan beberapa gangguan teknis sehingga memerlukan pengawasan dan perawatan lanjutan.

Kelompok efisiensi menengah terdiri dari MAN (277), Komatsu Mobile, dan MTU 12V (2017) dengan nilai SFC masing-masing 0,275; 0,280; dan 0,282, yang sesuai digunakan sebagai mesin pendukung saat beban meningkat. Sebaliknya, Yanmar 6029FJG dan Caterpillar 796 menempati posisi terbawah dengan SFC masing-masing 0,357 dan 0,385, menunjukkan efisiensi rendah dan gangguan berat sehingga tidak direkomendasikan untuk operasi normal sebelum dilakukan perbaikan menyeluruh.

Tabel 6. Hasil analisis merit order mesin diesel PLN

Mesin	SFC (L/KWH)	DMP (KW)	Keterangan
Cummins (647)	0,250	850	Sangat Layak – Paling Efisien
Cummins (813)	0,259	850	Sangat Layak - Efisien Tinggi
MTU 18V (418)	0,267	450	Layak – Efisiensi Tinggi
Komatsu (898)	0,273	280	Layak – Efisiensi Tinggi, Ada Gangguan Ringan
MAN (277)	0,275	350	Cukup Layak
Komatsu Mobile	0,280	350	Cukup Layak
MTU 12V (2017)	0,282	375	Cukup Layak
Yanmar 6029FJG	0,357	150	Tidak Disarankan – Efisiensi Rendah, Banyak Gangguan
Caterpillar (796)	0,385	380	Tidak Layak Dioperasikan – Paling Boros dan Gangguan Berat

Pola operasi berbasis merit order yang ditunjukkan pada tabel 5, diterapkan dengan mengutamakan mesin ber-SFC rendah dan menjaga pembebanan di atas 80% kapasitas agar tetap optimal. Pada jam beban tinggi, terutama pukul 18:00–21:00, operasi didominasi oleh mesin paling efisien, sementara unit efisiensi menengah seperti MTU 18V, Komatsu (898), MAN, MTU 12V, dan Komatsu Mobile berfungsi sebagai pengisi beban saat kapasitas utama terlampaui. Selama jam kerja pukul 08:00–17:00, pembebanan difokuskan pada mesin efisiensi tinggi untuk menekan konsumsi bahan bakar, sedangkan unit efisiensi menengah dioperasikan bergilir guna menjaga keandalan dan umur teknis mesin.

4.5. Hasil Perbandingan Pembebanan Mesin PLN setelah Mesin Sewa Beroperasi

Berdasarkan data pembebanan rata-rata harian November 2025 pada tabel 7 dibawah menunjukkan bahwa, mesin sewa Thas Power dan Sun Power Intim

beroperasi sebagai penyedia beban dasar dengan kapasitas konstan masing-masing 1.550 kW dan 2.150 kW, sehingga total base load sistem mencapai 3.700 kW. Setelah beban dasar ini terpenuhi, sisa kebutuhan daya ditanggung oleh mesin-mesin PLN yang beroperasi secara dinamis mengikuti fluktuasi beban harian. Pada dini hari hingga pagi, beban PLN relatif rendah, yaitu 1.657 kW pada pukul 00:00 dan mencapai titik terendah 1.258 kW pada pukul 04:00, kemudian meningkat kembali menjadi 1.695–1.820 kW pada pukul 05:00–06:00 seiring meningkatnya aktivitas masyarakat.

Pada periode pagi hingga siang hari (07:00–16:00), beban PLN berada pada kisaran 381–910 kW dan mencapai nilai terendah 389 kW pada pukul 13:00, menunjukkan bahwa mesin sewa mampu menutupi sebagian besar kebutuhan sistem. Sebaliknya, pada sore hingga malam hari beban PLN meningkat tajam, dari 726 kW pada pukul 17:00 menjadi 2.926 kW pada pukul 18:00, dan mencapai puncak 3.760 kW pada pukul 19:00. Setelah puncak terlewati, beban menurun

secara bertahap menjadi 2.976–1.895 kW pada pukul 20:00–23:00. Pola ini menegaskan bahwa mesin sewa efektif menjaga beban dasar, sementara mesin PLN berperan krusial sebagai penopang beban puncak untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan.

Tabel 7. Beban rata-rata harian mesin

Pukul	Beban Rata-Rata (kW)	Sewa TP	Sewa SPI (Kw)	Beban Mesin PLN (Kw)
00:00	5.357	1550	2.150	1.657
01:00	5.168	1550	2.150	1.468
02:00	5.054	1550	2.150	1.354
03:00	4.960	1550	2.150	1.260
04:00	4.958	1550	2.150	1.258
05:00	5.395	1550	2.150	1.695
06:00	5.520	1550	2.150	1.820
07:00	4.610	1550	2.150	910
08:00	4.391	1550	2.150	691
09:00	4.352	1550	2.150	652
10:00	4.293	1550	2.150	593
11:00	4.327	1550	2.150	627
12:00	4.244	1550	2.150	544
13:00	4.089	1550	2.150	389
14:00	4.139	1550	2.150	439
15:00	4.081	1550	2.150	381
16:00	4.138	1550	2.150	438
17:00	4.426	1550	2.150	726
18:00	6.626	1550	2.150	2.926
19:00	7.460	1550	2.150	3.760
20:00	6.676	1550	2.150	2.976
21:00	6.339	1550	2.150	2.639
22:00	5.949	1550	2.150	2.249
23:00	5.595	1550	2.150	1.895

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian performa dan analisis teknis mesin diesel PLN di PLTD Lamahora, dapat disimpulkan bahwa seluruh unit secara umum masih mampu beroperasi dengan parameter dasar yang memenuhi standar, ditunjukkan oleh frekuensi sekitar 50 Hz, putaran mesin mendekati 1.500 rpm, serta tegangan generator yang relatif stabil sesuai spesifikasi, namun beberapa unit menunjukkan indikasi penurunan kondisi mekanis seperti tekanan oli di bawah batas aman, temperatur oli mendekati atau melampaui batas normal, serta gejala penurunan kualitas pembakaran. Dari sisi efisiensi, nilai Specific Fuel Consumption (SFC) menjadi indikator utama, di mana mesin dengan SFC rendah pada kisaran 0,25–0,28 L/kWh, seperti Cummins, MAN, MTU 12V, dan Komatsu Mobile, terbukti lebih efisien dan layak diprioritaskan sebagai baseload, sedangkan mesin dengan SFC lebih tinggi seperti Yanmar dan Caterpillar memiliki efisiensi rendah dan sebaiknya ditempatkan sebagai unit siaga hingga dilakukan perbaikan. Penerapan pola operasi berbasis merit order dengan mengutamakan mesin ber-SFC rendah dan menjaga pembebanan mendekati atau di atas 80% kapasitas terpasang terbukti mampu menyesuaikan

fluktuasi beban harian, menekan konsumsi bahan bakar, meningkatkan keandalan sistem, serta menjaga umur teknis mesin, khususnya saat daya unit sewa tidak mencukupi. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengembangan kajian pada aspek emisi gas buang, degradasi performa mesin terhadap umur operasi, serta penerapan sistem monitoring digital real-time agar evaluasi efisiensi dan kondisi mesin dapat dilakukan lebih komprehensif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. F. Fadel, A. R. Sultan, K. Naim, and A. Rahmadani, "ANALISIS SUSUT DAYA AKIBAT PENAMBAHAN PEMBANGKIT PADA SISTEM ISOLATED DI PLN ULP MOUTONG," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3S1, 2025.
- [2] T. R. W. Sidabalok, Z. M. Harahap, Y. G. Sujatmiko, Y. B. Lumbantobing, and S. Aryza, "A Performance Comparison Analysis of Solar Power Plants and Steam Power Plants in the Context of PT Rapp," *Int. J. Econ. Technol. Soc. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 54–60, 2024.
- [3] Y. P. Nuari, "Analisis Pengaruh Variasi Pemanasan Bahan Bakar B20 Terhadap Kinerja Mesin Diesel Tv1," *Dep. Mesin Fak. Tek. Univ. Hasanuddin*, pp. 1–23, 2020.
- [4] A. Ruchiyat, "PENGARUH FREKUENSI SISTEM TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA BEBAN PUNCAK MESIN RUSTON 16 RKC," *J. Simetrik*, vol. 10, no. 1, pp. 263–268, 2020.
- [5] W. Susilo and others, "PENENTUAN POLA OPERASI BERDASARKAN ANALISIS BEBAN KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL DI PULAU GILI IYANG," *Rekayasa Sist. Energi dan Manufaktur*, vol. 3, no. 1, pp. 171–179, 2025.
- [6] E. iWdagdo, "Optimisasi Pola Pembebanan Daya Mesin Pembangkit Listrik Diesel SWD 16 TM 410 Terhadap Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar," *ELKHA J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [7] W. Alfalah, "Analisa Penurunan Tekanan Oli pada Mesin PLTD Bitung," *KILAT*, vol. 12, no. 1, pp. 30–37, 2023.
- [8] A. Rahmadani and A. Fernandes, "RANCANG BANGUN KWH METER PORTABEL DENGAN FITUR TAGIHAN SUSULAN DAN PEMUTUS OTOMATIS BERBASIS IOT," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 3, pp. 3849–3856, 2025.
- [9] A. W. Sihombing, D. Erivianto, M. E. Dalimunthe, and others, "Feasibility Analysis of Diesel Power Plant Operations (PLTD) in North Sumatra," *Holist. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 83–91, 2025.
- [10] Y. Nurfatihah, S. Safaruddin, and M. M. Muzzaki, "MENGHITUNG SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (SFC) PADA ALAT

- ROTARY KILN DI PABRIK II PT SEMEN BATURAJA TBK,” *Phenom. Multidiscip. J. Sci. Res.*, vol. 1, no. 02, pp. 54–60, 2023.
- [11] R. W. A. Saputra and D. Nugroho, “ANALISIS INTEGRASI PLTB PADA STABILITAS FREKUENSI DALAM JARINGAN KELISTRIKAN SULBAGSEL BERDASARKAN RATE OF CHANGE OF FREQUENCY,” *Elektrika*, vol. 16, no. 2, pp. 84–92, 2024.
- [12] Y. Pakan and E. R. Fadli, “Analisis variasi putaran terhadap torsi dan daya pada motor diesel satu silinder,” *J. Voering*, vol. 6, no. 1, pp. 33–38, 2021.
- [13] I. Sodikin, C. I. Parwati, F. Fayzi, and M. Indrayana, “Penjadwalan Perawatan Mesin Dengan Metode Preventive Maintenance \& Predictive Maintenance (Studi Kasus Di PLTD Kota Masohi),” *J. Tekst. J. Keilmuan Dan Apl. Bid. Tekst. Dan Manaj. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–46, 2024.