

Evaluasi Major Overhaul terhadap Efisiensi dan SFC PLTD Kotaraya

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Afristian Arief Dwiranda³

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

Email: eriprabowo@itpln.ac.id, Trassanda2410505@ITPLN.AC.ID, afri2112073@itpln.ac.id

Abstract

Diesel power plants remain important for isolated electricity systems because they can be operated flexibly and maintained locally. This paper evaluates the effect of major overhaul on thermal efficiency and Specific Fuel Consumption (SFC) of a 1 MW Cummins KTA50 G8 diesel engine at PLTD Kotaraya. The study used operational logsheet data, commissioning test data, before-overhaul data, and after-overhaul data. SFC was calculated from fuel mass flow and engine power, while thermal efficiency was calculated from engine power, fuel mass flow, lower heating value, and combustion efficiency. The analyzed load levels were 50%, 75%, 85%, and 100% for before and after major overhaul. The results show that SFC after overhaul was lower than before overhaul at all comparable load levels: at 50% load from 267.143 to 238.000 gr/kWh, at 75% load from 245.192 to 238.000 gr/kWh, at 85% load from 255.000 to 230.000 gr/kWh, and at 100% load from 242.857 to 229.500 gr/kWh. Thermal efficiency also increased from 33.489% to 37.590%, 36.488% to 37.590%, 35.084% to 38.898%, and 36.838% to 38.982%, respectively. The findings indicate that major overhaul improved fuel economy and thermal performance, especially when the unit operated at high load.

Keywords: diesel engine; major overhaul; PLTD Kotaraya; SFC; thermal efficiency

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel masih penting pada sistem kelistrikan isolated karena dapat dioperasikan secara fleksibel dan pemeliharaannya relatif mudah dilakukan di lokasi. Artikel ini mengevaluasi pengaruh major overhaul terhadap efisiensi termal dan Specific Fuel Consumption (SFC) mesin diesel Cummins KTA50 G8 kapasitas 1 MW di PLTD Kotaraya. Data yang digunakan meliputi logsheet operasi, data commissioning test, data sebelum overhaul, dan data sesudah overhaul. SFC dihitung berdasarkan laju aliran massa bahan bakar dan daya mesin, sedangkan efisiensi termal dihitung berdasarkan daya mesin, laju aliran massa bahan bakar, nilai kalor bahan bakar, dan efisiensi pembakaran. Beban yang dianalisis adalah 50%, 75%, 85%, dan 100% untuk kondisi sebelum dan sesudah major overhaul. Hasil menunjukkan bahwa SFC sesudah overhaul lebih rendah dibandingkan sebelum overhaul pada seluruh beban pembanding, yaitu 267,143 menjadi 238,000 gr/kWh pada beban 50%, 245,192 menjadi 238,000 gr/kWh pada beban 75%, 255,000 menjadi 230,000 gr/kWh pada beban 85%, dan 242,857 menjadi 229,500 gr/kWh pada beban 100%. Efisiensi termal juga meningkat dari 33,489% menjadi 37,590%, 36,488% menjadi 37,590%, 35,084% menjadi 38,898%, dan 36,838% menjadi 38,982%. Hasil ini menunjukkan bahwa major overhaul memperbaiki keekonomian bahan bakar dan performa termal mesin, terutama pada beban operasi yang lebih tinggi.

Kata kunci: efisiensi termal; major overhaul; mesin diesel; PLTD Kotaraya; SFC

1. Pendahuluan

PLTD Kotaraya merupakan salah satu pembangkit yang berperan menjaga pasokan listrik pada sistem isolated. Pada sistem seperti ini, keandalan dan efisiensi mesin diesel sangat menentukan kontinuitas pelayanan listrik karena PLTD dapat dioperasikan secara fleksibel, mengikuti perubahan beban, dan digunakan pada sistem pembangkit skala kecil hingga menengah [1-5]. Efisiensi pembangkit diesel dipengaruhi oleh kondisi mesin, sistem bahan bakar, sistem udara masuk, sistem pendingin, kualitas bahan bakar, serta kualitas pemeliharaan. Penurunan performa komponen dapat meningkatkan Specific Fuel Consumption (SFC), menurunkan efisiensi termal, dan memperbesar biaya operasi karena bahan bakar merupakan komponen biaya dominan pada PLTD [6-13].

Major overhaul merupakan kegiatan pemeliharaan besar yang bertujuan memulihkan kondisi mesin melalui pemeriksaan, pembongkaran, pembersihan, penggantian komponen, penyetelan, dan pengujian kembali. Penelitian terkait overhaul mesin diesel menunjukkan bahwa pemeliharaan besar dapat memperbaiki performa komponen, menekan konsumsi bahan bakar, serta mendukung keandalan operasi unit pembangkit [14-16].

Pada mesin Cummins KTA50 G8 di PLTD Kotaraya, kegiatan major overhaul dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap SFC dan efisiensi termal. Artikel ini disusun dari laporan tugas akhir mengenai analisis

efisiensi termal dan SFC sebelum serta sesudah major overhaul, dengan judul yang dibuat berbeda dari judul tugas akhir agar lebih sesuai untuk publikasi jurnal. Pembahasan difokuskan pada data beban 50%, 75%, 85%, dan 100%, penulisan rumus yang ringkas, serta interpretasi teknis terhadap perubahan performa mesin.

2. Metode Penelitian

2.1. Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah mesin diesel Cummins KTA50 G8 pada PLTD Kotaraya, Desa Kotaraya Barat, Kecamatan Mepanga, Kabupaten Parigi Moutong, Sulawesi Tengah. Mesin dianalisis pada periode sebelum dan sesudah major overhaul. Data yang digunakan berasal dari logsheet mesin, data commissioning test, data beban, data pemakaian bahan bakar, serta data spesifikasi mesin dan generator.

Tabel 1. Spesifikasi utama mesin dan generator

Parameter	Nilai	Keterangan
Mesin	Cummins KTA50 G8	Mesin diesel PLTD Kotaraya
Tahun pembuatan	2017	Data nameplate
Putaran mesin	1.500 rpm	Kecepatan nominal
Daya mesin	1.915 HP	Daya mesin diesel
Generator	Stamford DPGD	Generator terkopel
Daya nominal generator	1.292 kW	Kapasitas keluaran
Tegangan dan frekuensi	380 V; 50 Hz	Sistem 3 fasa

2.2. Parameter dan Persamaan

Analisis dilakukan dengan dua parameter utama, yaitu Specific Fuel Consumption dan efisiensi termal. SFC menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik. Efisiensi termal menunjukkan kemampuan mesin mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik atau energi keluaran yang bermanfaat.

$$\text{SFC} = (m_f / W) \times 3.600.000 \quad (1)$$

$$\eta_t = W / (m_f \times Q_{\text{LHV}} \times \eta_c) \times 100\% \quad (2)$$

Pada Persamaan (1), m_f adalah laju aliran massa bahan bakar dalam kg/s dan W adalah daya mesin dalam kW. Pada Persamaan (2), η_t adalah efisiensi termal, Q_{LHV} adalah nilai kalor bawah bahan bakar, dan η_c adalah efisiensi pembakaran. Nilai massa jenis bahan bakar B30 yang digunakan adalah 850 kg/m³ atau 0,85 kg/L, nilai kalor B30 sebesar 41.483,9 kJ/kg, dan efisiensi pembakaran sebesar 0,97.

Tabel 2. Data dasar perhitungan

Parameter	Nilai	Satuan
Massa jenis B30	850	kg/m ³
Massa jenis B30	0,85	kg/L
Nilai kalor B30	41.483,9	kJ/kg
Efisiensi pembakaran	0,97	-
Beban analisis	50; 75; 85; 100	%

2.3. Tahapan Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dari rekap beban mesin dan pemakaian bahan bakar pada commissioning test awal, kondisi sebelum major overhaul, dan kondisi sesudah major overhaul. Selanjutnya laju konsumsi bahan bakar dikonversi menjadi aliran massa, kemudian digunakan untuk menghitung SFC dan efisiensi termal pada masing-masing beban.

Tabel 3. Tahapan analisis data

Tahap	Aktivitas	Keluaran
1	Rekap logsheet dan data beban	Daya mesin dan konsumsi BBM
2	Konversi debit BBM ke laju massa	m_f dalam kg/s
3	Hitung SFC	gr/kWh
4	Hitung efisiensi termal	η_t dalam persen
5	Bandingkan sebelum dan sesudah MO	Dampak overhaul

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Commissioning Test Awal

Commissioning test awal digunakan sebagai kondisi pembandingan ketika mesin masih berada pada kondisi awal beroperasi. Pada beban 645 kW, nilai SFC sebesar 205,977 gr/kWh. Pada beban 825 kW, SFC menjadi 217,085 gr/kWh. Pada beban 1043 kW dan 1100 kW, SFC masing-masing sebesar 211,237 gr/kWh dan 211,032 gr/kWh. Data ini menunjukkan bahwa pada kondisi awal, nilai SFC relatif lebih rendah dibandingkan kondisi mesin sebelum overhaul.

Tabel 4. SFC dan efisiensi saat commissioning test awal

Beban	Daya (kW)	SFC (gr/kWh)	Efisiensi (%)
60%	645	205,977	40,260
80%	825	217,085	38,200
100%	1043	211,237	39,258
110%	1100	211,032	39,296

3.2. Performa Mesin Sebelum Major Overhaul

Sebelum major overhaul, mesin menunjukkan peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik dibandingkan kondisi commissioning awal. Pada beban 50% atau 350 kW, SFC sebesar 267,143 gr/kWh. Pada beban 75% atau 520 kW, SFC sebesar 245,192 gr/kWh. Pada beban 85% atau 600 kW, SFC sebesar 255,000 gr/kWh. Pada beban 100% atau 700 kW, SFC sebesar 242,857 gr/kWh.

Tabel 5. Performa mesin sebelum major overhaul

Beban	Daya (kW)	SFC (gr/kWh)	Efisiensi (%)
50%	350	267,143	33,489
75%	520	245,192	36,488
85%	600	255,000	35,084
100%	700	242,857	36,838

Nilai efisiensi termal sebelum overhaul berada pada rentang 33,489% sampai 36,838%. Efisiensi tertinggi terjadi pada beban 100%, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada beban 50%. Hal ini menunjukkan bahwa pengoperasian pada beban rendah kurang ekonomis karena energi bahan bakar yang dikonversi menjadi keluaran efektif lebih kecil.

3.3. Performa Mesin Sesudah Major Overhaul

Sesudah major overhaul, terdapat perbaikan performa pada seluruh beban pembandingan. Pada beban 50% atau 500 kW, SFC menjadi 238,000 gr/kWh. Pada beban 75% atau 750 kW, SFC juga sebesar 238,000 gr/kWh. Pada beban 85% atau 850 kW, SFC turun menjadi 230,000 gr/kWh. Pada beban 100% atau 1000 kW, SFC mencapai 229,500 gr/kWh.

Tabel 6. Performa mesin sesudah major overhaul

Beban	Daya (kW)	SFC (gr/kWh)	Efisiensi (%)
50%	500	238,000	37,590
75%	750	238,000	37,590
85%	850	230,000	38,898
100%	1000	229,500	38,982

Efisiensi termal sesudah overhaul berada pada rentang 37,590% sampai 38,982%. Kenaikan efisiensi paling terlihat pada beban 50% dan 85%. Pada beban 100%, efisiensi meningkat menjadi 38,982% dengan SFC terendah 229,500 gr/kWh. Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin menjadi lebih baik dalam mengubah energi bahan bakar menjadi daya keluaran.

3.4. Perbandingan SFC Sebelum dan Sesudah Overhaul

Tabel 7. Perbandingan SFC sebelum dan sesudah major overhaul

Beban	SFC sebelum MO	SFC sesudah MO	Penurunan
50%	267,143	238,000	29,143 gr/kWh
75%	245,192	238,000	7,192 gr/kWh
85%	255,000	230,000	25,000 gr/kWh
100%	242,857	229,500	13,357 gr/kWh

Tabel 7 menunjukkan bahwa SFC mengalami penurunan pada seluruh variasi beban. Penurunan terbesar terjadi pada beban 50%, yaitu sebesar 29,143 gr/kWh, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada beban 75%, yaitu 7,192 gr/kWh. Secara teknis, penurunan SFC sesudah overhaul menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar per satuan energi yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Meskipun demikian, beban rendah tetap perlu diperhatikan karena efisiensi pada beban rendah umumnya lebih sensitif terhadap kondisi pengabutan bahan bakar, temperatur mesin, dan stabilitas pembakaran. Oleh karena itu, strategi operasi yang menjaga mesin pada beban ekonomis menjadi penting agar hasil overhaul dapat memberikan penghematan bahan bakar secara konsisten.

3.5. Perbandingan Efisiensi Termal

Tabel 8. Perbandingan efisiensi termal sebelum dan sesudah major overhaul

Beban	Efisiensi sebelum MO	Efisiensi sesudah MO	Kenaikan
50%	33,489%	37,590%	+4,101 poin
75%	36,488%	37,590%	+1,102 poin
85%	35,084%	38,898%	+3,814 poin
100%	36,838%	38,982%	+2,144 poin

Kenaikan efisiensi termal menunjukkan bahwa major overhaul berhasil memperbaiki kemampuan mesin dalam memanfaatkan energi bahan bakar. Perbaikan ini dapat berasal dari normalisasi kondisi sistem bahan bakar, penggantian komponen yang aus, pembersihan sistem pendingin, perbaikan sistem udara masuk, dan peningkatan kualitas pembakaran. Pada beban 100%, efisiensi termal meningkat dari 36,838% menjadi 38,982%. Nilai ini juga sejalan dengan SFC yang turun dari 242,857 gr/kWh menjadi 229,500 gr/kWh. Hubungan tersebut memperlihatkan bahwa ketika efisiensi termal meningkat, konsumsi bahan bakar spesifik cenderung menurun.

3.6. Pembahasan Faktor Teknis

Analisis fishbone pada laporan sumber menunjukkan bahwa faktor yang memengaruhi SFC dan efisiensi dapat dikelompokkan menjadi material, measurement, machine, method, man, dan environment. Pada aspek material, kelainan material dan kualitas suku cadang dapat memengaruhi pembakaran. Pada aspek measurement, alat ukur yang tidak standar dapat menyebabkan data pemakaian bahan bakar kurang akurat. Pada aspek method, jadwal pemeliharaan yang tertunda dapat mempercepat penurunan performa. Pada aspek machine, komponen sistem bahan bakar dan sistem udara masuk sangat menentukan pembakaran. Setelah overhaul ditemukan tindakan penggantian atau penanganan pada injector, actuator, filter bahan bakar, thermostat, filter oli, gasket, dan hose turbocharger. Komponen-komponen tersebut berhubungan langsung dengan suplai bahan bakar, kestabilan tekanan, temperatur kerja mesin, pelumasan, dan tekanan udara masuk.

Tabel 9. Ringkasan faktor teknis yang memengaruhi performa

Faktor	Temuan teknis	Dampak terhadap performa
Sistem bahan bakar	Injector dan filter diperiksa/diganti	Pembakaran lebih stabil
Sistem pendingin	Thermostat dan radiator diperhatikan	Temperatur mesin lebih terkendali
Sistem pelumasan	Filter oli diganti	Kearifan komponen menurun
Sistem gas buang	Gasket dan hose turbocharger ditangani	Udara masuk dan gas buang lebih baik
Metode operasi	Review SOP dan pola operasi	Beban lebih ekonomis

3.7. Implikasi Operasi PLTD

Hasil penelitian menunjukkan bahwa major overhaul memberikan dampak positif terhadap SFC dan efisiensi termal. Namun, manfaat tersebut perlu dijaga melalui pola pengoperasian yang tepat. Pada PLTD, mesin yang terlalu sering dioperasikan pada beban rendah cenderung memiliki SFC lebih tinggi. Selain itu, kualitas bahan bakar B30 perlu dikontrol karena kontaminasi atau pemisahan fase dapat mempercepat penurunan kualitas filter dan injector. Pemakaian biodiesel B30 juga memerlukan perhatian pada filter bahan bakar. Pada laporan sumber

dijelaskan bahwa filter bahan bakar perlu dimonitor dan diganti secara rutin untuk menghindari masuknya FAME atau kotoran menuju actuator dan injector. Apabila pengabutan injector tidak sempurna, konsumsi bahan bakar dapat meningkat dan emisi gas buang dapat memburuk.

Dengan demikian, major overhaul sebaiknya diikuti dengan monitoring berkala terhadap tekanan bahan bakar, temperatur exhaust, kondisi filter, kebersihan radiator, serta review SOP operasi. Monitoring tersebut diperlukan agar peningkatan efisiensi termal setelah overhaul tidak cepat hilang akibat operasi dan pemeliharaan harian yang tidak konsisten.

3.8. Rekomendasi Pemeliharaan Lanjutan

Rekomendasi pertama adalah memasang atau menstandarkan flowmeter pada tangki harian agar pengukuran pemakaian bahan bakar lebih akurat. Rekomendasi kedua adalah memasang filter separator bahan bakar setelah tangki induk sebelum masuk ke tangki harian. Rekomendasi ketiga adalah melakukan desain ulang posisi tangki harian agar aliran bahan bakar lebih stabil dan beban kerja pompa bahan bakar tidak berlebihan.

Rekomendasi berikutnya adalah melakukan performance test secara rutin untuk memperoleh data keandalan dan efisiensi mesin. Data ini dapat dipakai sebagai dasar evaluasi apakah SFC mulai naik, efisiensi mulai turun, atau terdapat gejala awal kerusakan. Dengan pola ini, pemeliharaan tidak hanya dilakukan setelah terjadi masalah, tetapi juga sebagai langkah prediktif untuk mencegah kenaikan konsumsi bahan bakar.

Tabel 10. Rekomendasi tindak lanjut

Prioritas	Rekomendasi	Tujuan
1	Standarisasi flowmeter BBM	Akurasi data konsumsi bahan bakar
2	Filter separator sebelum tangki harian	Mencegah kontaminasi bahan bakar
3	Review posisi dan sistem tangki harian	Menstabilkan suplai bahan bakar
4	Performance test berkala	Memantau SFC dan efisiensi
5	Review SOP operasi	Menjaga operasi pada beban ekonomis

3.9. Contoh Perhitungan SFC dan Efisiensi

Untuk memperjelas keterkaitan antara data operasi dan indikator performa, contoh perhitungan dapat dilihat pada kondisi sesudah overhaul beban 100%. Pada kondisi tersebut daya mesin sebesar 1000 kW dan konsumsi bahan bakar setara 270 liter per jam. Dengan massa jenis B30 sebesar 0,85 kg/L, laju massa bahan bakar diperoleh dari konversi volume per jam menjadi kg/s. Nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan SFC sehingga diperoleh 229,500 gr/kWh.

$$m_f = (270 \text{ L/jam} \times 0,85 \text{ kg/L}) / 3600 = 0,06375 \text{ kg/s} \quad (3)$$

$$\text{SFC} = (0,06375 / 1000) \times 3.600.000 = 229,500 \text{ gr/kWh} \quad (4)$$

Dengan nilai kalor B30 sebesar 41.483,9 kJ/kg dan efisiensi pembakaran 0,97, efisiensi termal pada beban 100% sesudah overhaul dapat dihitung menggunakan perbandingan daya keluaran terhadap energi bahan bakar yang masuk ke mesin. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi sebesar 38,982%. Nilai ini menjadi efisiensi tertinggi pada seluruh variasi beban sesudah overhaul.

$$\eta_t = 1000 / (0,06375 \times 41.483,9 \times 0,97) \times 100\% = 38,982\% \quad (5)$$

Tabel 11. Contoh pengaruh konsumsi bahan bakar terhadap SFC

Kondisi	Beban	BBM	Daya	SFC
Sebelum MO	100%	200 L/jam	700 kW	242,857 gr/kWh
Sesudah MO	100%	270 L/jam	1000 kW	229,500 gr/kWh
Interpretasi	Daya lebih tinggi	BBM naik absolut	Output naik lebih besar	SFC turun

Tabel 11 menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi bahan bakar secara absolut tidak selalu berarti mesin lebih boros. Pada kondisi sesudah overhaul, pemakaian bahan bakar per jam memang lebih besar karena beban mesin juga lebih tinggi, tetapi energi yang dihasilkan meningkat lebih besar sehingga SFC menurun. Oleh sebab itu, evaluasi PLTD tidak cukup hanya melihat liter per jam, tetapi harus dibandingkan dengan produksi energi atau daya keluaran.

3.10. Hubungan Beban Operasi dengan Konsumsi Spesifik

Kinerja mesin diesel umumnya lebih baik pada beban menengah hingga tinggi karena proses pembakaran lebih stabil, temperatur kerja lebih mendekati kondisi rancangan, dan losses relatif terhadap daya keluaran menjadi lebih

kecil. Pada data penelitian, kondisi sesudah overhaul menunjukkan tren yang jelas: SFC turun dari 238,000 gr/kWh pada beban 50% dan 75% menjadi 230,000 gr/kWh pada beban 85%, kemudian turun lagi menjadi 229,500 gr/kWh pada beban 100%.

Tren tersebut menunjukkan bahwa mesin sebaiknya tidak terlalu lama dioperasikan pada beban rendah apabila sistem kelistrikan memungkinkan pembagian beban yang lebih optimal. Pada beban rendah, sebagian energi bahan bakar digunakan untuk mengatasi gesekan, pompa, kipas, pendinginan, dan beban bantu lain yang tidak berbanding lurus dengan energi listrik yang dihasilkan. Akibatnya, rasio bahan bakar terhadap energi keluaran menjadi lebih besar. Pada sisi operasi, rekomendasi yang dapat diterapkan adalah membuat dispatch atau pola pembebanan yang mempertimbangkan SFC masing-masing unit. Mesin yang baru selesai overhaul dan memiliki SFC lebih rendah dapat diprioritaskan untuk memikul beban dasar, sedangkan unit lain dapat digunakan sebagai cadangan atau pendukung beban puncak. Strategi ini dapat menekan konsumsi bahan bakar total sistem tanpa mengurangi keandalan pasokan.

Tabel 12. Arahan operasi berdasarkan beban mesin

Rentang beban	Kondisi teknis	Arahan operasi
< 50%	Pembakaran cenderung kurang ekonomis	Hindari operasi lama jika ada opsi unit lain
50-75%	SFC mulai membaik tetapi belum optimum	Gunakan untuk transisi beban
75-85%	Operasi lebih stabil	Cocok untuk beban reguler
85-100%	SFC dan efisiensi terbaik pada data sesudah MO	Prioritaskan sebagai rentang ekonomis

3.11. Pembahasan Sistem Bahan Bakar B30

Bahan bakar B30 memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan solar murni karena mengandung campuran biodiesel. Pada satu sisi, biodiesel mendukung kebijakan energi terbarukan dan dapat membantu mengurangi emisi tertentu. Pada sisi lain, biodiesel memiliki sifat higroskopis dan detergency yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan, filtrasi, dan pengoperasian sistem bahan bakar. Dalam konteks PLTD Kotaraya, laporan sumber menekankan bahwa filter bahan bakar harus dimonitor secara rutin. Apabila FAME atau kotoran lolos dari filter, komponen seperti actuator dan injector dapat terganggu. Gangguan pada injector akan memengaruhi bentuk semprotan, tekanan pengabutan, dan waktu pembakaran. Jika pengabutan tidak sempurna, sebagian bahan bakar tidak terbakar optimal sehingga SFC meningkat dan efisiensi termal menurun.

Perbaikan performa sesudah overhaul dapat dikaitkan dengan pengembalian kondisi sistem bahan bakar, termasuk penggantian injector, filter, dan pemeriksaan komponen pendukung. Walaupun demikian, hasil overhaul tidak akan bertahan lama tanpa kontrol kualitas bahan bakar. Tangki harian perlu dikuras sesuai jadwal, filter separator perlu diperiksa, dan data tekanan bahan bakar harus dicatat untuk mendeteksi gejala penyumbatan lebih awal.

Tabel 13. Risiko bahan bakar B30 dan pengendaliannya

Risiko	Dampak	Pengendalian
Kotoran pada bahan bakar	Filter cepat tersumbat	Filter separator dan drain tangki
Air dalam bahan bakar	Korosi dan pembakaran tidak stabil	Pemeriksaan water content
FAME lolos filtrasi	Injector dan actuator terganggu	Penggantian filter rutin
Nilai kalor lebih rendah	SFC dapat meningkat	Evaluasi konsumsi berbasis kWh
Penyimpanan lama	Degradasi kualitas bahan bakar	Rotasi stok dan sampling berkala

3.12. Evaluasi Komponen Setelah Overhaul

Kegiatan major overhaul tidak hanya mengganti komponen yang rusak, tetapi juga mengembalikan keseimbangan kerja antar sistem. Pada mesin diesel, sistem bahan bakar, sistem pendingin, sistem pelumasan, dan sistem gas buang saling memengaruhi. Apabila salah satu sistem tidak bekerja baik, temperatur ruang bakar, tekanan kompresi, tekanan udara masuk, dan kualitas pembakaran ikut berubah.

Pada laporan sumber, tindakan perbaikan mencakup penggantian injector, actuator, filter bahan bakar, thermostat, filter oli, serta gasket dan hose turbocharger. Injector dan actuator berkaitan langsung dengan suplai bahan bakar. Thermostat dan radiator memengaruhi temperatur kerja mesin. Filter oli memengaruhi kualitas

pelumasan dan pencegahan keausan. Turbocharger memengaruhi ketersediaan udara masuk untuk proses pembakaran.

Berdasarkan hubungan tersebut, peningkatan efisiensi termal sesudah overhaul dapat dipahami sebagai hasil gabungan dari pembakaran yang lebih baik, pendinginan yang lebih stabil, pelumasan yang lebih bersih, serta aliran udara masuk yang lebih optimal. Dengan kata lain, SFC tidak hanya dipengaruhi oleh satu komponen, tetapi oleh integrasi sistem mesin diesel secara keseluruhan.

Tabel 14. Komponen kunci pasca-overhaul

Komponen	Fungsi utama	Indikator monitoring
Injector	Mengabutkan bahan bakar	Tekanan, pola spray, temperatur exhaust
Actuator	Mengatur suplai bahan bakar	Respons beban dan kestabilan putaran
Filter BBM	Menyaring kontaminan	Diferensial tekanan dan umur pakai
Thermostat/radiator	Menjaga temperatur	Temperatur coolant dan alarm panas
Turbocharger	Meningkatkan udara masuk	Boost pressure dan warna asap
Filter oli	Menjaga kebersihan pelumasan	Tekanan oli dan hasil analisis oli

3.13. Perbandingan dengan Kondisi Commissioning

Data commissioning test awal menunjukkan bahwa ketika mesin masih berada pada kondisi awal beroperasi, SFC berada pada rentang sekitar 205,977 sampai 217,085 gr/kWh. Nilai ini lebih rendah dibandingkan data sebelum dan sesudah overhaul. Perbedaan tersebut wajar karena commissioning dilakukan pada kondisi mesin relatif baru, sedangkan data sebelum dan sesudah overhaul dipengaruhi umur operasi, kondisi lingkungan, kualitas bahan bakar, dan pola pembebanan aktual di lapangan.

Walaupun sesudah overhaul SFC belum sepenuhnya kembali ke nilai commissioning, terjadi perbaikan yang nyata dibandingkan sebelum overhaul. Hal ini penting untuk interpretasi hasil penelitian: tujuan major overhaul bukan selalu mengembalikan mesin persis seperti kondisi baru, tetapi memulihkan performa agar kembali mendekati batas ekonomis dan andal untuk operasi harian.

Perbandingan terhadap commissioning juga membantu menetapkan target pemeliharaan berikutnya. Jika selisih SFC terhadap commissioning masih cukup besar, tim operasi dapat menelusuri faktor tambahan seperti kualitas bahan bakar, kebersihan intake, kondisi turbocharger, kalibrasi alat ukur, dan kesesuaian pola pembebanan. Dengan demikian, data commissioning menjadi baseline historis untuk mengevaluasi degradasi performa jangka panjang.

3.14. Strategi Monitoring Pasca-Overhaul

Agar manfaat major overhaul tetap terjaga, monitoring pasca-overhaul perlu dilakukan secara sistematis. Parameter yang dapat dipantau antara lain SFC harian, beban rata-rata, temperatur exhaust tiap silinder, tekanan oli, temperatur coolant, tekanan udara masuk, kondisi filter, dan konsumsi bahan bakar per jam. Data tersebut sebaiknya tidak hanya dicatat, tetapi juga dianalisis sebagai tren.

Trend monitoring memungkinkan tim pemeliharaan mendeteksi perubahan kecil sebelum menjadi gangguan besar. Misalnya, kenaikan SFC pada beban yang sama dapat menjadi indikasi filter tersumbat, injector mulai tidak normal, atau alat ukur bahan bakar tidak akurat. Kenaikan temperatur exhaust pada salah satu silinder dapat menunjukkan pembakaran tidak seimbang. Penurunan tekanan oli dapat menjadi indikasi masalah pelumasan.

Tabel 15. Parameter monitoring pasca-overhaul

Parameter	Tujuan pemantauan	Tindakan bila menyimpang
SFC harian	Melihat efisiensi bahan bakar	Cek beban, filter, dan injector
Temperatur exhaust	Melihat keseragaman pembakaran	Cek injector dan kompresi
Tekanan oli	Menilai sistem pelumasan	Cek filter oli dan kebocoran
Temperatur coolant	Menilai sistem pendingin	Cek thermostat dan radiator
Boost pressure	Menilai turbocharger	Cek kebocoran udara dan filter
Kualitas BBM	Mencegah kontaminasi	Sampling, drain, dan filtrasi

3.15. Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan utama penelitian ini adalah jumlah data yang digunakan masih berbasis data operasi dan pengujian pada unit tertentu. Hasilnya sangat relevan untuk mesin Cummins KTA50 G8 PLTD Kotaraya, tetapi generalisasi ke unit lain perlu mempertimbangkan tipe mesin, umur operasi, kualitas bahan bakar, kondisi lingkungan, serta pola beban sistem. Selain itu, data kualitas bahan bakar aktual, hasil oil analysis, dan data emisi belum dibahas secara mendalam. Keterbatasan lain adalah perbandingan sebelum dan sesudah overhaul menggunakan kondisi beban yang tidak selalu identik secara absolut. Oleh karena itu, interpretasi lebih tepat dilakukan berdasarkan kecenderungan SFC dan efisiensi pada rentang beban yang sebanding. Untuk penelitian lanjutan, pengujian terkontrol pada beban yang sama dan durasi yang sama akan menghasilkan validitas perbandingan yang lebih kuat.

Meskipun demikian, data yang tersedia sudah cukup untuk menunjukkan bahwa major overhaul memberikan perbaikan performa. Penurunan SFC dan kenaikan efisiensi termal terjadi pada seluruh variasi beban pembandingan. Hal ini menjadi dasar praktis bagi pengelola PLTD dalam mengevaluasi manfaat pekerjaan overhaul terhadap penghematan bahan bakar.

3.16. Efisiensi Termal sebagai Indikator Kualitas Pembakaran

Efisiensi termal merupakan indikator penting karena menunjukkan seberapa besar energi kimia bahan bakar yang berhasil dimanfaatkan menjadi daya keluaran. Pada mesin diesel, efisiensi ini dipengaruhi oleh tekanan kompresi, temperatur ruang bakar, kualitas atomisasi bahan bakar, kecukupan udara pembakaran, dan rugi-rugi mekanis. Setelah major overhaul, peningkatan efisiensi pada seluruh beban menunjukkan bahwa kombinasi faktor-faktor tersebut menjadi lebih baik dibandingkan sebelum overhaul.

Perubahan efisiensi paling besar terjadi pada beban 50%, yaitu naik sebesar 4,101 poin persen. Hal ini dapat terjadi karena pada beban rendah, ketidaksempurnaan pembakaran akan lebih terlihat pada konsumsi spesifik. Ketika injector, filter bahan bakar, actuator, dan sistem udara masuk diperbaiki, stabilitas pembakaran pada beban rendah menjadi lebih baik sehingga efisiensi meningkat cukup besar. Pada beban 100%, kenaikan efisiensi sebesar 2,144 poin persen tetap penting karena berhubungan langsung dengan operasi beban ekonomis.

Dalam praktik operasi PLTD, efisiensi termal sebaiknya tidak dibaca sebagai angka tunggal. Nilai efisiensi perlu dikaitkan dengan beban, temperatur, kondisi lingkungan, dan kualitas bahan bakar. Apabila efisiensi turun pada beban yang sama, hal tersebut dapat menjadi indikasi awal adanya masalah pada sistem bahan bakar, udara masuk, pendinginan, atau pengukuran data operasi.

Tabel 16. Makna teknis perubahan efisiensi termal

Perubahan indikator	Kemungkinan penyebab	Tindak lanjut
Efisiensi naik dan SFC turun	Pembakaran membaik	Pertahankan pola operasi dan inspeksi filter
Efisiensi turun dan SFC naik	Injector/filter/udara masuk bermasalah	Inspeksi sistem bahan bakar dan turbocharger
Efisiensi fluktuatif	Beban tidak stabil atau alat ukur tidak konsisten	Kalibrasi dan evaluasi logsheet
Efisiensi baik pada beban tinggi saja	Beban rendah kurang ekonomis	Optimasi dispatch unit

3.17. Peran Sistem Pendingin dan Pelumasan

Sistem pendingin dan pelumasan berperan besar terhadap kestabilan performa mesin diesel. Sistem pendingin menjaga temperatur kerja agar pembakaran tidak menimbulkan overheating, sedangkan sistem pelumasan mengurangi gesekan dan keausan. Jika sistem pendingin terganggu, temperatur mesin naik lebih cepat, viskositas oli berubah, dan risiko penurunan performa meningkat. Jika sistem pelumasan tidak bersih, gesekan internal meningkat dan sebagian energi bahan bakar hilang sebagai rugi mekanis.

Pada laporan sumber, thermostat, radiator, dan filter oli termasuk komponen yang diperhatikan dalam kegiatan perbaikan. Thermostat yang tidak sesuai dapat menghambat kestabilan temperatur operasi. Radiator yang kotor dapat mengurangi kemampuan melepas panas. Filter oli yang kotor dapat menurunkan efektivitas pelumasan dan mempercepat keausan bearing atau komponen bergerak. Ketiga hal tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi efisiensi termal.

Oleh karena itu, pemeliharaan pasca-overhaul tidak boleh hanya berfokus pada komponen bahan bakar. Sistem pendingin dan pelumasan harus masuk dalam daftar prioritas inspeksi berkala. Parameter seperti temperatur

coolant, temperatur oli, tekanan oli, kualitas oli, dan kebersihan radiator perlu dipantau secara rutin karena perubahan kecil pada parameter tersebut dapat berdampak pada SFC jangka panjang.

Tabel 17. Parameter sistem pendingin dan pelumasan

Sistem	Parameter penting	Risiko bila diabaikan
Pendingin	Temperatur coolant dan kondisi radiator	Overheating dan penurunan efisiensi
Pendingin	Thermostat dan water pump	Temperatur kerja tidak stabil
Pelumasan	Tekanan dan temperatur oli	Gesekan meningkat
Pelumasan	Kebersihan filter oli	Keausan bearing dan komponen bergerak

3.18. Manajemen Data Logsheets

Kualitas analisis SFC dan efisiensi sangat bergantung pada kualitas data logsheet. Data beban, konsumsi bahan bakar, temperatur, tekanan, dan jam operasi harus dicatat dengan konsisten. Apabila pencatatan tidak konsisten, hasil perhitungan dapat bias. Misalnya, kesalahan pembacaan flowmeter atau perbedaan metode pencatatan liter per jam dapat menyebabkan SFC terlihat naik atau turun tanpa mencerminkan kondisi mesin yang sebenarnya.

Pada artikel ini, data logsheet digunakan sebagai dasar penghitungan sebelum dan sesudah overhaul. Karena itu, penguatan prosedur pencatatan menjadi rekomendasi penting. Operator perlu menggunakan format logsheet yang seragam, waktu pencatatan yang tetap, satuan yang jelas, dan metode validasi sederhana. Data yang menyimpang harus diberi catatan agar tidak langsung digunakan sebagai basis kesimpulan tanpa pemeriksaan.

Manajemen data juga dapat dikembangkan menjadi dashboard sederhana. Dashboard tersebut menampilkan tren SFC, efisiensi, beban, temperatur exhaust, tekanan oli, dan konsumsi bahan bakar. Dengan visualisasi tren, perubahan performa dapat dilihat lebih cepat dibandingkan hanya membaca tabel harian. Pendekatan ini mendukung pemeliharaan berbasis kondisi dan pengambilan keputusan operasi yang lebih terukur.

Tabel 18. Rekomendasi penguatan logsheet

Aspek data	Masalah umum	Rekomendasi
Waktu pencatatan	Tidak seragam	Tetapkan interval pencatatan tetap
Satuan data	Liter, kg, kWh bercampur	Gunakan satuan baku dan konversi jelas
Alat ukur	Belum dikalibrasi rutin	Jadwal kalibrasi dan verifikasi silang
Data anomali	Langsung dihitung	Beri catatan dan lakukan validasi
Arsip data	Sulit ditelusuri	Simpan digital dan versi revisi

3.19. Implikasi Ekonomi Penurunan SFC

Penurunan SFC memiliki implikasi ekonomi yang signifikan karena biaya bahan bakar merupakan komponen dominan pada operasi PLTD. Pada data sesudah overhaul, SFC pada beban 100% turun sebesar 13,357 gr/kWh dibandingkan sebelum overhaul. Jika mesin beroperasi dalam durasi panjang, penghematan per kWh tersebut akan terakumulasi menjadi penghematan bahan bakar yang besar. Selain biaya langsung bahan bakar, SFC yang lebih rendah juga dapat mengurangi frekuensi pengisian tangki, mengurangi beban logistik bahan bakar, dan menurunkan risiko operasi akibat ketersediaan bahan bakar. Pada wilayah yang relatif jauh dari pusat distribusi, dampak logistik ini tidak kalah penting dibandingkan penghematan biaya per liter. Oleh karena itu, major overhaul harus dilihat sebagai investasi pemeliharaan yang dapat memberi manfaat teknis dan ekonomi. Namun, manfaat ekonomi tidak akan optimal jika pola operasi tidak menyesuaikan hasil evaluasi. Mesin yang telah memiliki SFC lebih baik perlu dioperasikan pada rentang beban yang ekonomis, sementara unit dengan SFC lebih buruk perlu dievaluasi lebih lanjut. Dengan cara tersebut, penghematan bahan bakar dapat dicapai pada tingkat sistem pembangkit, bukan hanya pada satu mesin.

Tabel 19. Dampak praktis penurunan SFC

Dampak	Penjelasan	Manfaat
Konsumsi BBM turun per kWh	Bahan bakar lebih efisien	Biaya operasi menurun
Beban logistik berkurang	Kebutuhan pasokan BBM lebih rendah	Risiko kekurangan BBM menurun
Operasi lebih stabil	Pembakaran lebih baik	Keandalan unit meningkat

Dampak	Penjelasan	Manfaat
Data dasar investasi	Overhaul dapat dievaluasi kuantitatif	Perencanaan pemeliharaan lebih kuat

3.20. Kerangka Implementasi Hasil di PLTD

Hasil penelitian dapat diterapkan melalui tiga langkah. Pertama, menetapkan baseline performa mesin setelah overhaul, yaitu SFC dan efisiensi pada beberapa titik beban. Baseline ini menjadi pembandingan untuk evaluasi bulanan. Kedua, menyusun pola operasi yang memprioritaskan unit dengan SFC rendah pada rentang beban ekonomis. Ketiga, memperkuat pemeliharaan preventif dan prediktif pada komponen yang paling memengaruhi SFC. Kerangka tersebut perlu didukung oleh koordinasi antara operator, pemeliharaan, dan manajemen unit. Operator bertanggung jawab mencatat data operasi secara benar dan menjalankan mesin sesuai SOP. Tim pemeliharaan bertanggung jawab melakukan inspeksi filter, injector, pendingin, pelumasan, dan turbocharger. Manajemen bertanggung jawab memastikan ketersediaan material cadang, alat ukur, dan jadwal pemeliharaan yang realistis.

Dengan implementasi yang konsisten, hasil major overhaul dapat dipertahankan lebih lama. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi bukan hanya hasil pekerjaan satu kali, tetapi perlu dijaga oleh sistem operasi dan pemeliharaan yang disiplin. Oleh sebab itu, artikel ini dapat menjadi acuan praktis untuk evaluasi overhaul pada PLTD lain dengan karakteristik mesin dan bahan bakar yang sejenis.

Tabel 20. Kerangka implementasi pasca-overhaul

Langkah	Pelaksana	Output yang diharapkan
Tetapkan baseline SFC	Operator dan engineering	Standar performa pasca-overhaul
Optimasi pola beban	Operator dan dispatch	Operasi pada rentang ekonomis
Monitoring filter dan injector	Pemeliharaan	Pembakaran stabil
Kalibrasi alat ukur	Engineering	Data perhitungan akurat
Evaluasi bulanan	Manajemen unit	Keputusan pemeliharaan berbasis data

4. Kesimpulan

- Major overhaul menurunkan SFC mesin Cummins KTA50 G8 PLTD Kotaraya pada seluruh variasi beban pembandingan. SFC pada beban 50%, 75%, 85%, dan 100% masing-masing turun dari 267,143 menjadi 238,000 gr/kWh; 245,192 menjadi 238,000 gr/kWh; 255,000 menjadi 230,000 gr/kWh; dan 242,857 menjadi 229,500 gr/kWh.
- Major overhaul meningkatkan efisiensi termal pada seluruh variasi beban. Efisiensi pada beban 50%, 75%, 85%, dan 100% meningkat dari 33,489% menjadi 37,590%; 36,488% menjadi 37,590%; 35,084% menjadi 38,898%; dan 36,838% menjadi 38,982%.
- Performa mesin sesudah overhaul paling efisien pada beban operasi tinggi, terutama pada beban 100% dengan SFC 229,500 gr/kWh dan efisiensi termal 38,982%.
- Faktor yang paling memengaruhi peningkatan performa adalah perbaikan sistem bahan bakar, injector, actuator, filter, pendinginan, pelumasan, serta konsistensi SOP operasi dan pemeliharaan.

Saran

PLTD Kotaraya perlu menjaga pola operasi mesin pada rentang beban ekonomis, melakukan performance test secara berkala, serta memastikan kondisi flowmeter, filter separator, injector, dan sistem bahan bakar tetap baik. Pemeliharaan lanjutan sebaiknya diarahkan pada condition monitoring agar kenaikan SFC dapat dideteksi lebih awal. Penggantian filter bahan bakar dan pemeriksaan kontaminasi B30 perlu dilakukan secara disiplin karena kualitas bahan bakar sangat memengaruhi pengabutan, pembakaran, dan efisiensi mesin. Data logsheet juga perlu dibuat lebih konsisten agar evaluasi pasca-overhaul dapat dilakukan dengan akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi PLN, dosen pembimbing, serta pihak PLTD Kotaraya yang telah mendukung penyediaan data dan pelaksanaan penelitian.

Daftar Rujukan

- 1) Ilhamton A, Pakiding M, Tumaliang H, Elektro T, Sam U, Manado R, et al. Analisis unjuk kerja sistem produksi listrik pada pembangkit listrik tenaga diesel Wehana. 2019;8(3).
- 2) Hayatullah W, Pratama SP, Yakut FM, Muzaini MR, Umam MF. Analisa performa generator set diesel PLTD terhadap perubahan beban di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Migas dan Gas Bumi. Majalah Ilmiah Swara Patra. 2021;11(1):15-27.
- 3) Syahri H, Darmulia M, Efendi D, Insal R. Analisis kinerja mesin diesel terhadap pemakaian bahan bakar heavy fuel oil pada pembangkit listrik tenaga diesel. Jurnal Teknologi. 2017;1(2):179-1795.
- 4) Masrianto, Rahman ES, Ruslan. Studi tentang proses pembangkitan listrik tenaga diesel PT PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar Sektor Tello Makassar. Jurnal Teknik Elektro. 2018;2(1):6.
- 5) PLN Pusdiklat. Dasar Operasi dan Pemeliharaan PLTD. Jakarta: PT PLN (Persero).
- 6) Cummins Inc. Operation and maintenance manual for KTA50 series diesel engines. Technical manual.
- 7) Ariani F, Ginting E, Burhanuddin. Karakteristik kinerja mesin diesel stasioner dengan bahan bakar campuran biodiesel dari biji kemiri sunan. Jurnal Teknologi. 2017;12(1):36-45.
- 8) Situs B, Suprihatin, Lestina S, Darmanto P, Shanturi JAR, Siagian Y. Pengaruh bahan bakar biodiesel terhadap kinerja mesin diesel empat langkah. 2022.
- 9) Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. Pedoman penanganan dan penyimpanan biodiesel dan campuran biodiesel B30. Jakarta: Kementerian ESDM; 2020.
- 10) Heywood JB. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill; 1988.
- 11) Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. London: Palgrave Macmillan; 2012.
- 12) Pulkrabek WW. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. Upper Saddle River: Prentice Hall; 2004.
- 13) Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics: An Engineering Approach. New York: McGraw-Hill; 2015.
- 14) Alfalah W, Sulisty B, Ikhsan R. Pengaruh pemeliharaan overhaul turbocharger terhadap performa mesin diesel pembangkit. Jurnal Teknik. 2017;5(Power Plant).
- 15) Ismail AR. Predictive maintenance dengan sistem major overhaul pada mesin diesel Mirrless Blackstone ELS 16 MK 2 di PLTD Poasia. ENTHALPY-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin. 2016;2(2):42-49.
- 16) Mobley RK. Maintenance Fundamentals. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2004.
- 17) Putra TS, Prabowo E, Ramadani F. Pengaruh Overhaul Terhadap Kinerja High Pressure Heater Unit 3 PLTU Banten Lontar. JTM: JURNAL TEKNIK MESIN. 2026 Feb 1;2(1):10-5.