

**STUDI PENGGUNAAN BIODIESEL PADA MESIN ALAT
BERAT PERTAMBANGAN DALAM MENDUKUNG
TRANSISI ENERGI TERBARUKAN DENGAN ASESMEN
TEKNOLOGI MAINTENANCE**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari
Universitas Darma Persada**

Oleh

UHANTO

NIM : 2023910002

(Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan)



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

"Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagian bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Darma Persada atau Perguruan tinggi lainnya"

Jakarta, 10 Juli 2025




Uhanto

NIM : 2023910002

ABSTRAK

UHANTO (2023910002). Studi Penggunaan Biodiesel pada Mesin Alat Berat Pertambangan dalam Mendukung Transisi Energi Terbarukan dengan Integrasi Teknologi dan Asesmen Maintenance. Dibawah bimbingan Dr. Andy Tirta, M.Sc, Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si, Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat.

Beberapa tahun terakhir, penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif telah berkembang pesat di Indonesia, terutama di sektor transportasi, pertambangan, dan konstruksi. Namun, dampaknya terhadap daya tahan *engine* dan strategi perawatan masih memerlukan perhatian khusus. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif dalam sektor alat berat telah menjadi perhatian utama untuk mendukung keberlanjutan energi dan pengurangan emisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan campuran biodiesel (B5, B15, dan B35) terhadap performa, daya tahan *engine*, dan strategi pemeliharaan pada unit *dump truck* HD785-7. Pengujian dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pengujian pada *test bench engine* dan pengujian langsung pada unit di lapangan dengan kondisi operasional standar. Pengujian biodiesel di operasional tambang dilakukan pada tiga unit HD785-7 untuk mengevaluasi dampaknya terhadap ketahanan *engine*. Unit A dimonitor hingga 27.000 jam, Unit B hingga 36.000 jam, dan Unit C hingga 40.000 jam, dengan masing-masing engine akan dilakukan *disassy* untuk analisis dampak biodiesel terhadap komponen *engine*. Hasil pengujian pada *test bench* menunjukkan adanya penurunan torsi dan daya maksimum saat menggunakan biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel fosil (B0). Penurunan torsi tercatat berkisar antara 1,4% untuk B5, 1,6% untuk B15, hingga 11,1% untuk B35, sedangkan penurunan daya (*horsepower*) berkisar antara 4,85% untuk B5, 2,2% untuk B15, dan 11,2% untuk B35. Meskipun demikian, pengujian lapangan pada unit HD785-7 memperlihatkan bahwa perbedaan performa tersebut tidak memberikan dampak signifikan terhadap kinerja operasional dan masih berada dalam batas standar operasional *fabricator*. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel B5, B15, dan B35 pada *engine* HD785-7 menurunkan emisi CO₂ hingga 17% dengan total jam operasi sebesar 104.715 jam, penggunaan biodiesel menghasilkan emisi sebesar 14.356,57 ton CO₂, dibandingkan estimasi emisi bahan bakar fosil sebesar 17.399,44 ton CO₂. Hasil uji laboratorium terhadap sampel biodiesel memenuhi standar operasional. Nilai TAN sampel di bawah batas maksimum 0,6 mgKOH/g, menandakan stabilitas kimia yang baik terhadap oksidasi. Viskositas kinematik berkisar antara 3,051–3,935 cSt, sesuai spesifikasi optimal untuk sistem injeksi bahan bakar. Kadar air memenuhi standar (<400 mg/kg), namun beberapa sampel dari area pit mining menunjukkan kadar air lebih tinggi, yang dapat meningkatkan risiko korosi dan kontaminasi mikroba. Selain itu, analisis ISO Code partikel memenuhi atau mendekati standar kebersihan 18/16/13, ada beberapa nilai *cleanliness* pada sampel dengan nilai hingga 21/19/15, sehingga perlu peningkatan pengendalian kontaminasi partikel padat, khususnya di area pit

mining. Secara keseluruhan, mutu biodiesel masih dalam spesifikasi operasional, namun perhatian khusus perlu diberikan terhadap kontrol kadar air dan kebersihan partikulat untuk menjaga keandalan *engine* di lapangan. Melalui asesmen *maintenance* dan integrasi teknologi, penerapan *predictive maintenance* berbasis *machine learning* dengan sistem *management* kerangka kerja PDCA terbukti meningkatkan usia pakai *engine* HD785-7 berbahan bakar biodiesel. Pendekatan manajemen berbasis data dan siklus perbaikan berkelanjutan menjadi kunci dalam mendukung adopsi biodiesel berkelanjutan di sektor pertambangan. Hasil ini memberikan dasar strategis untuk pengembangan *maintenance* yang lebih proaktif dan kebijakan kebijakan biodiesel ramah lingkungan di masa depan.

Kata kunci: Biodiesel, Clean;iness, HD785-7, Emisi CO₂, Performa Engine, Maintenance Predictive, Energi Berkelanjutan



ABSTRACT

UHANTO (2023910002). The Study of Biodiesel Use in Heavy Mining Equipment Engines to Support the Transition to Renewable Energy with Technology Integration and Maintenance Assessment. Under direction of Dr. Andy Tirta, M.Sc, Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si, Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat.

In recent years, the use of biodiesel as an alternative fuel has grown rapidly in Indonesia, particularly in the transportation, mining, and construction sectors. However, its impact on engine durability and maintenance strategies still requires special attention. The use of biodiesel in heavy equipment has become a key focus to support energy sustainability and emission reductions. This study aims to evaluate the impact of biodiesel blends (B5, B15, and B35) on the performance, engine durability, and maintenance strategies of the HD785-7 dump truck units. Testing was conducted through two approaches: test bench experiments and field testing under standard operational conditions. We tested biodiesel on three HD785-7 units in the mining operation to assess its impact on engine durability. Unit A was monitored up to 27,000 hours, Unit B up to 36,000 hours, and Unit C up to 40,000 hours, with each engine disassembled for component analysis to assess biodiesel impact. Test bench results indicated a reduction in torque and maximum power output when using biodiesel compared to fossil diesel (B0). Torque reductions ranged from 1.4% for B5 and 1.6% for B15 to 11.1% for B35, while horsepower reductions ranged from 4.85% for B5 and 2.2% for B15 to 11.2% for B35. Nevertheless, field testing on HD785-7 units showed that these performance differences did not significantly impact operational performance and remained within the manufacturer's operational standards. This study demonstrated that the use of B5, B15, and B35 biodiesel blends on HD785-7 engines reduced CO₂ emissions by up to 17%. Over a total operating time of 104,715 hours, biodiesel use generated an estimated 14,356.57 tons of CO₂ emissions, compared to 17,399.44 tons estimated for fossil diesel. Laboratory testing of biodiesel samples confirmed compliance with operational standards. TAN values were below the maximum limit of 0.6 mgKOH/g, indicating good chemical stability against oxidation. Kinematic viscosity ranged from 3.051 to 3.935 cSt, meeting optimal specifications for fuel injection systems. Water content was within the standard limit (<400 mg/kg), although several samples from pit mining areas showed higher levels, potentially increasing the risk of corrosion and microbial contamination. Furthermore, ISO particle code analysis indicated that most samples met or approached the cleanliness standard of 18/16/13, with some deviations up to 21/19/15, indicating the need for improved solid particle contamination control, especially in pit mining areas. Overall, the quality of biodiesel remains within operational specifications, but special attention must be given to controlling water content and particulate cleanliness to maintain engine reliability in the field. Through maintenance assessment and technology integration, the implementation of predictive maintenance based on machine learning and a PDCA framework-based

management system has proven effective in extending the service life of biodiesel-fueled HD785-7 engines. A data-driven management approach and continuous improvement cycle are key to supporting sustainable biodiesel adoption in the mining sector. These findings provide a strategic basis for the development of more proactive maintenance and environmentally friendly biodiesel policies in the future.

Keywords: Biodiesel, Cleanliness, HD785-7, CO₂ Emissions, Engine Performance, Predictive Maintenance, Sustainable Energy



LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Judul Tesis : Studi Penggunaan Biodiesel Pada Mesin Alat Berat
Pertambahan dalam Mendukung Transisi Energi
Terbarukan dengan Integrasi Teknologi dan
Asesmen Maintenance

Nama : Uhanto

NIM : 2023910002

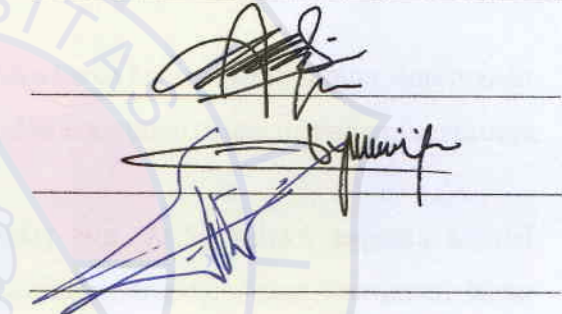
Telah disetujui oleh komisi pembimbing dan penguji

Dr. Andy Tirta, S.T., M.Eng
(Pembimbing Utama/Penguji)

Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si
(Anggota/Penguji)

Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat
(Anggota/Penguji)

Dr. Ir. As Natio Lasman
(Penguji)



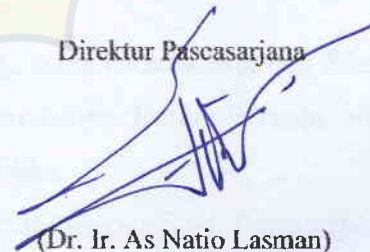
Mengetahui

Ketua Program Studi

Direktur Pascasarjana



(Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng)



(Dr. Ir. As Natio Lasman)

Tanggal Ujian :
Tanggal Yudisium :

KATA PENGANTAR

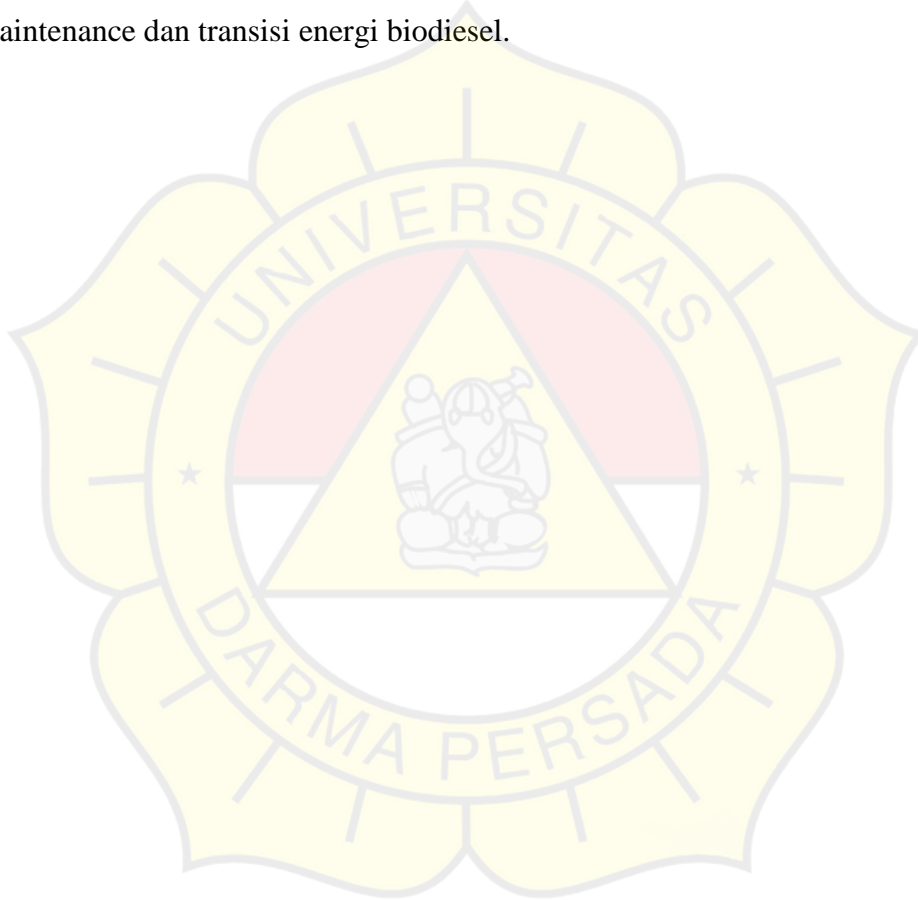
Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karuniaNya, sehingga tesis ini yang berjudul "Studi Penggunaan Biodiesel pada Mesin Alat Berat Pertambangan dalam Mendukung Transisi Energi Terbarukan dengan Integrasi Teknologi dan Asesmen Maintenance" dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada.

Penyusunan tesis ini merupakan hasil dari bimbingan akademik, dukungan institusional, serta motivasi dari berbagai pihak, yang dengan ini penulis sampaikan terimakasih dan apresiasi kepada:

1. Bapak Dr. Andy Tirta, M.Sc, selaku ketua komisi pembimbing, atas arahan ilmiah, evaluasi yang mendalam, dan komitmen dalam mendampingi proses penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, M.Si, selaku anggota komisi pembimbing, atas arahan ilmiah, evaluasi yang mendalam, komitmen dalam memberikan panduan metodologi dan penulisan penelitian, penulisan karya ilmiah paper, serta motivasi yang tinggi dalam bimbingan penulisan tesis.
3. Bapak Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat, selaku anggota komisi pembimbing, atas arahan ilmiah, evaluasi yang mendalam, dan komitmen praktek penulisan karya ilmiah paper, chapter book, penerbitan karya tulisan pada jurnal dengan reputasi internasional.
4. Bapak Dr. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan.
5. Bapak Dr. Ir. As Natio Lasman, selaku Direktur Program Studi Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan
6. Keluarga tercinta, atas doa, motivasi, serta dukungan moral dan materi yang berkelanjutan.

7. Rekan-rekan mahasiswa Angkatan 2023 Ganjil Program Studi Teknik Energi Terbarukan, atas kolaborasi ilmiah dan pertukaran ide yang konstruktif selama masa studi.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan karya ini di masa depan. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pengetahuan dan penerapan teknologi energi terbarukan di sektor industri pertambangan, serta menjadi referensi dalam studi lanjut di bidang maintenance dan transisi energi biodiesel.



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Cirebon pada tanggal 03 Nopember 1985, sebagai anak ke 5 dari 6 bersaudara dari pasangan Bapak Martu (almarhum) dan Ibu Sukami. Pada tahun 2005, penulis diterima di Universitas Udayana, Jurusan Teknik Mesin, dengan konsentrasi Konversi Energi, dan berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) pada tahun 2010. Setelah menyelesaikan pendidikan, penulis mengawali karier profesional di bidang *Maintenance Heavy Duty Equipment* sebagai *Plant Engineer* di PT. Saptaindra Sejati, salah satu bagian dari perusahaan energi terkemuka di Indonesia, yaitu Adaro Energy.

Dengan pengalaman lebih dari satu dekade, penulis telah memimpin berbagai proyek pengembangan sistem *Reliability Maintenance* yang berkontribusi dalam membangun *platform maintenance* untuk alat berat di perusahaan tersebut. Selain itu, penulis juga dipercaya untuk mengembangkan sistem *Quality Assurance (QA)* pada divisi *Remanufacturing Component Heavy Duty Equipment*, memperluas keahliannya dalam aspek rekondisi komponen alat berat berbasis standar kualitas industri.

Pada tahun 2023, penulis melanjutkan studi di Program Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, Jakarta, sebagai bagian dari komitmennya dalam memperdalam ilmu di bidang energi terbarukan. Keterlibatan dalam literasi akademik, minat terhadap transisi energi, serta pemahaman mendalam terhadap konversi energi dan maintenance, mendorong penulis untuk turut berkontribusi dalam penulisan beberapa karya ilmiah sebagai bentuk aktualisasi minat akademik, diantaranya:

1. Buku Sistem Manajemen Energi dengan judul: Inovasi Teknologi untuk Efisiensi Energi Terbarukan. Penerbit ITB Press. ISBN 978-623-297-669-6.
2. Buku Sistem Manajemen Energi dengan judul: Integrasi Teknologi dan Manajemen untuk Efisiensi Energi Baru Terbarukan. Penerbit ITB Press. ISBN 978-623-297-670-2.

3. Predictive Maintenance with Machine Learning: A Comparative Analysis of Wind Turbines and PV Power Plants. <https://doi.org/10.60084/hjas.v2i2.219>. Heca Journal of Applied Sciences (HECA).
4. Sustainable Biodiesel Industry: A Techno-Economic Framework For Evaluating Biodiesel Production. LoA 022/14134/LOA/I/2025, Volume 9 nomor 2 edisi publish Desember 2025. JMEMME (Journal of Mechanical, Manufactures, Materials and Energy).
5. Evaluating Effects of Biodiesel Blends on Engine Durability and Maintenance Strategies in Heavy Equipment Applications. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5117280> & <https://ssrn.com/abstract=5117280>. Proses publish di Jurnal Next Energy, Manuscript number: NXENER-D-25-00259, <https://track.authorhub.elsevier.com/?uuid=1e603c41-d7be-4079-9f80-987eeca6e8a>

Selain sebagai penulis utama, juga aktif dalam penulisan paper bersama tim, diantaranya:

1. Hybrid Energy Solutions for Sustainable Offshore Oil and Gas Operations: Leveraging Thermoelectric, Solar, and Wind Potential. <https://doi.org/10.60084/ljes.v2i2.218>. Leuser Journal of Environmental Studies (LJES).
2. Optimizing Motorcycle Manufacturing Sustainability through the Integration of Waste Heat Recovery and Metal Scrap Recycling: A Process Engineering Approach. <https://doi.org/10.60084/ljes.v2i2.225>. Leuser Journal of Environmental Studies (LJES).
3. Potential for Electrical Energy Savings in AC Systems by Utilizing Exhaust Heat from Outdoor Unit. <https://doi.org/10.60084/hjas.v2i2.223>. Heca Journal of Applied Sciences (HECA).
4. Optimizing Compressed Air Operations for Electrical Energy Savings: A Case Study in Pharmaceutical Packaging Manufacturing. <https://doi.org/10.61975/gjset.v2i2.58>. Grimsa Journal of Science Engineering and Technology (GJSET).

Demikian deskripsi singkat riwayat hidup, menggambarkan perjalanan pendidikan, integrasi antara kompetensi akademik, pengalaman profesional, dan hasil kontribusi ilmiah penulis dalam bidang teknik energi terbarukan dan *maintenance heavy duty equipment*. Dengan latar belakang pendidikan teknik mesin dan pengalaman lebih dari satu dekade di industri energi, penulis berupaya mengembangkan pendekatan berbasis teknologi dan inovasi dalam mendukung

transisi energi berkelanjutan. Dokumentasi ini diharapkan menjadi fondasi untuk kontribusi lebih lanjut di dunia akademik dan profesional.



Dipersembahkan untuk



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur dan penghargaan, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian tesis ini. Pertama-tama, penulis memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayahNya, sehingga tesis dengan judul "Studi Penggunaan Biodiesel pada Mesin Alat Berat Pertambangan dalam Mendukung Transisi Energi Terbarukan dengan Integrasi Teknologi dan Asesmen Maintenance" dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyampaikan apresiasi dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Bapak Dr. Andy Tirta, selaku ketua komisi pembimbing, M.Sc, Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si, selaku anggota komisi pembimbing, dan Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat, selaku anggota komisi pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang tiada henti selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh dosen di Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, atas ilmu, wawasan, dan pengalaman akademik yang telah diberikan selama masa studi. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan angkatan 2023 Ganjil, atas diskusi, kolaborasi, dan dukungan moral yang sangat berarti dalam proses studi dan penyusunan tesis ini.

Tak lupa, penghargaan dan rasa terima kasih penulis persembahkan kepada keluarga tercinta, khususnya kepada orang tua dan istri, serta anak-anak, atas doa, dorongan, serta dukungan moral dan material yang tidak pernah surut, yang menjadi sumber kekuatan utama dalam menyelesaikan studi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat, baik dalam pengembangan ilmu pengetahuan maupun sebagai referensi untuk penelitian dan implementasi lebih lanjut di bidang energi terbarukan. Semoga segala bantuan dan kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
RIWAYAT HIDUP.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xii
Lambang.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5 Kerangka Penelitian	7
1.6 Hipotesis	8
BAB 2 Tinjauan Pustaka	9
2.1 Adopsi Biodiesel di Pertambangan	13
2.1.1 Biodegradasi dan Ramah Lingkungan	13

2.1.2	Implementasi Biodiesel dalam Transisi Energi Terbarukan	14
2.1.3	Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca.....	16
2.1.4	Kemandirian dan Keamanan Energi	17
2.1.5	Peluang Pengembangan Ekonomi.....	18
2.2	Analisis Biodiesel dan Aplikasi	20
2.2.1	Karakteristik Biodiesel.....	20
2.2.2	Proses Produksi Biodiesel.....	22
2.2.3	Aplikasi dan Market Biodiesel.....	25
2.2.4	Dampak Penggunaan Biodiesel pada Mesin Alat Berat	26
2.3	Strategi Perawatan Mesin untuk Penggunaan Biodiesel	27
2.3.1	Perancangan Disain <i>Maintenance</i>	28
2.3.2	Perkembangan <i>Maintenance</i>	31
2.3.3	Analisis Mekanis pada Proses Pembakaran Mesin Diesel.....	33
BAB 3	Metodologi Penelitian	37
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2	Bahan dan Alat	39
3.3	Prosedur Penelitian dan Parameter Pengamatan	40
3.4	Perancangan Eksperimen dan Perlakuan.....	41
3.4.1	Pengujian <i>Engine</i> di <i>Test Bench</i>	42
3.4.2	Pengujian <i>Field Performance Engine application to Unit</i>	44
3.4.3	Skema Aplikasi Biodiesel pada Operasional HD785-7	46
3.4.4	<i>Maintenance Activity Framework</i>	47
3.4.5	<i>Monitoring Performance dan Data Collection Instruments</i>	49
3.4.6	Kalkulasi Penurunan Emisi Penggunaan Biodiesel	50
3.5	Analisis Data	51

3.5.1	Analisis Performa Mesin.....	51
3.5.2	Analisis Kualitas Bahan Bakar Biodiesel	52
3.5.3	Analisis Emisi	52
3.5.4	Analisis Asesmen Teknologi Maintenance	52
BAB 4	Hasil dan Pembahasan	54
4.1	Hasil.....	55
4.1.1	Test Bench dan Field Performance Engine dengan Biodiesel	55
4.1.2	Kontrol Kualitas <i>Cleanlinnes</i> Biodiesel.....	55
4.1.3	Persentase Penurunan Emisi CO2.....	63
4.1.4	<i>Improvement</i> Strategi <i>Predictive Maintenance</i>	68
4.2	Pembahasan	70
4.2.1	Analisis Hasil Test Bench dan Field Performance.....	70
4.2.2	Analisis Kualitas <i>Cleanlinnes</i> Biodiesel	74
4.2.3	Analisis Penurunan Emisi CO2.....	75
4.2.4	Analisis Strategi <i>Predictive Maintenance</i>	76
BAB 5	Kesimpulan dan Saran	79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA		82
LAMPIRAN.....		94

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Kegiatan operasional tambang batu bara	2
Gambar I.2 <i>Framework</i> konseptual penelitian.....	8
Gambar II.1 Implementasi biodiesel Indonesia	11
Gambar II.2 Proses transesterifikasi reaksi produksi biodiesel [46].....	23
Gambar II.3 PDCA-ISO 41001 proses pendekatan metodologi [58]	30
Gambar II.4 Tipe strategi <i>maintenance</i> [58].....	31
Gambar II.5 Ruang lingkup analisis pemeliharaan [60]	32
Gambar II.6 . Konsep Pdm-ML untuk operasional yang efisien [62]	33
Gambar II.7 Siklus diesel. (a) Diagram p-v (b) Diagram T-s [64]	34
Gambar III.1 Alur prosedur penelitian dan parameter pengamatan.....	41
Gambar III.2 Basic system Vhms Komatsu [90]	50
Gambar IV.1 Hasil Test bench: (a) Torque, (b) Power, (c) Boost Press. LH, (d) Boost Press. RH	56
Gambar IV.2 Performance Engine Speed Unit HD785-7 A-B-C	58
Gambar IV.3 Performance Boost Pressure Unit HD785-7 A-B-C	59
Gambar IV.4 Performance Travel speed Unit HD785-7 A-B-C.....	59
Gambar IV.5 Performance Fuel rate Unit HD785-7 A-B-C.....	60
Gambar IV.6 Performance Engine cooling temperature Unit HD785-7 A-B-C...	60
Gambar IV.7 Performance Engine oil temperature Unit HD785-7 A-B-C	61
Gambar IV.8 Jalur distribusi biodiesel	62
Gambar IV.9 Integrasi strategi predictive maintenance berbasis machine learning untuk mesin diesel	69
Gambar IV.10 (a) Oil Temperature Engine (b) Cooling Temperature (Water)...	71
Gambar IV.11 Sistem <i>management maintenance heavy duty</i> pertambangan	77

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Interval penggunaan biodiesel	6
Tabel II.1 Kebijakan Indonesia terhadap tahapan aplikasi biodiesel	11
Tabel II.2 Produksi minyak sawit beberapa negara 2023-2024 [24]	18
Tabel II.3 Perbandingan biodiesel dan diesel fosil.....	20
Tabel II.4 Karakteristik biodiesel terhadap diesel fosil	20
Tabel II.5 Skala angka ISO 4406 [44]	22
Tabel II.6 <i>Feedstock</i> biodiesel	23
Tabel II.7 Teknologi reaktor produksi biodiesel.....	24
Tabel II.8 Strategi perawatan mesin.....	27
Tabel III.1 Spesifikasi <i>engine</i> Komatsu SAA12V140E-3	42
Tabel III.2 <i>Propertise</i> bahan bakar <i>engine diesel</i>	42
Tabel III. 3 <i>Propertise</i> Engine oil lubricant [87]	43
Tabel III.4 Spesifikasi Unit HD785-7 [88][89]	44
Tabel III.5 Handling dan distribusi biodiesel.....	45
Tabel III.6 <i>Maintenance Activity Framework</i>	47
Tabel IV.1 Interval penggunaan biodiesel (<i>Hour Meter</i>).....	56
Tabel IV.2 <i>Cleanliness</i> biodiesel Mei 2024 hingga Januari 2025	62
Tabel IV.3 Total Emission CO ₂ Biodisesel Usage	68
Tabel IV.4 Maximum Torque and Power Reduction Comparison	70

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan

Singkatan	Deskripsi Singkatan	Pemakaian pertama kali pada halaman
CO ₂	Carbon Dioxide	4
NO _x	Nitrogen oksida	4
CO	Carbon Monoxide	15
SO ₂	Sulfur Dioxide	17
HC	Hydro Carbon	15
PM ₁₀	Particulate Matter 10 micrometer	17
°C	Degree Celsius (Derajat Celsius)	20
B0	Biodiesel 0% (Solar 100% dan Minyak nabati 0%)	37
B2,5	Biodiesel 2,5% (Solar 97,5% dan Minyak nabati 2,5%)	13
B5	Biodiesel 5% (Solar 95% dan Minyak nabati 5%)	4
B7,5	Biodiesel 7,5% (Solar 92,5% dan Minyak nabati 7,5%)	11
B10	Biodiesel 10% (Solar 90% dan Minyak nabati 10%)	11
B15	Biodiesel 15% (Solar 85% dan Minyak nabati 15%)	4
B20	Biodiesel 20% (Solar 80% dan Minyak nabati 20%)	11
B30	Biodiesel 30% (Solar 70% dan Minyak nabati 30%)	12
B35	Biodiesel 35% (Solar 65% dan Minyak nabati 35%)	4
B40	Biodiesel 40% (Solar 60% dan Minyak nabati 40%)	11
B100	Biodiesel 100% (Solar 0% dan Minyak nabati 100%)	12
Bn	Biodiesel n %	52
HD785-7	High Dump Truck Tipe 785-7 (Komatsu)	4
VHMS	Vehicle Health Monitoring System	6
GRK	Gas Rumah Kaca	7
ML	Machine Learning	7
PdM	Sistem Predictive Maintenance	7
PV	Photovoltaic	9
LCA	Life Cycle Assessment	13
WCO	Waste Cooking Oil	14
POBB	Palm Oil Based Biofuel	15
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap	15

ESDM	Energi Sumber Daya Mineral	10
CPO	Crude Palm Oil	19
HFFR	Lubricity High Frequency Reciprocating Rig	20
ISO	International Organization for Standardization	21
MT	Metric Ton	18
Rp	Rupiah	16
kW	Kilo Watt	17
GW	Giga Watt	15
kL	Kilo Liter	16
MWh	Megawatt-hour	16
kWh	Kilowatt-hour	17
MJ	Megajoule	20
cSt	centiStokes	20
BBN	Bahan Bakar Nabati	11
PSO	Public Service Obligation	11
BPDPKS	Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit	11
SNI	Standar Nasional Indonesia	12
KAI	Kereta Api Indonesia	12
PLN	Perusahaan Listrik Negara	25
ESG	Environmental Social Governance	25
IHP	Indicated Horsepower	27
OBM	On board monitoring	28
OMM	Operation & Maintenance Manual	28
BIFM	British Institute of Facilities Management	29
IFMA	International Facilities Management Association	29
PDCA	Plan Do Check Act	29
KPI	Key Performance Indicator	29
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis	31
RCA	Root Cause Analysis	31
RUL	Remaining Useful Life	31
AI	Artificial Intelligence	32
IT	Information Technology	32
RPM	Revolutions Per Minute	36
HP	Horsepower	36
35X06	Dinamometer test bench engine: Brand Power Test Model dengan kapasitas 2100 HP	39
SAA12V140E-3	Tipe engine komatsu	39
MEDITRAN SX PLUS	Jenis oli mesin diesel performa tinggi dari Pertamina	40

15W-40	Viskositas oli mengalir baik di suhu dingin (15W) dan tetap stabil di suhu kerja tinggi (40).	40
AUS	Regional untuk pasar Australia	40
API CI-4/SL	Standar kualitas oli dari API untuk mesin diesel (CI-4) dan juga memenuhi spesifikasi mesin bensin (SL)	40
EGR	Exhaust Gas Recirculation	43
RMC	Repair Maintenance Cost	47
FAME	Fatty Acid Methyl Ester	45
RH	Right Hand	56
LH	Left Hand	56
KgM	Kilogram Meter	55
PMS	Permeasible	57
TAN	Total Acid Number	60

Lambang

Lambang	Deskripsi Lambang	Pemakaian pertama kali pada halaman
$p-v$	Perbandingan Tekanan vs Volume	34
$T-s$	Perbandingan Temperatur vs Entropi	34
μm	Micrometer (Satuan ukuran partikel)	21
\dot{Q}_{in}	Penambahan panas siklus diesel	34
\dot{Q}_{out}	Pelepasan panas siklus diesel	34
T_3	Suhu maksimum	34
T_1	Suhu minimum	34
\dot{m}_{mix}	Massa total campuran udara-bahan bakar	34
η_v	Volumetrik	34
ρ_{air}	Densitas udara	34
V_d	Volume displasi	34
N	Kecepatan mesin	34
ϕ	Rasio kesetaraan	34
AF_S	Rasio udara-bahan bakar stoikiometri	34
\dot{W}_{net}	Selisih \dot{Q}_{in} dan \dot{Q}_{out}	35
\dot{m}	Laju aliran massa (<i>mass flow rate</i>)	35
C_v	Kapasitas panas spesifik pada volume konstan	35
C_p	Kapasitas panas spesifik pada tekanan konstan	35
γ	Rasio kapasitansi panas	35
η_{th}	Efisiensi termal	35
Lb-ft	Pound Feet	36
W	Kerja poros mesin yang dinyatakan dalam HP	36
Np	Kecepatan berputar poros (RPM)	36

DAFTAR LAMPIRAN

