

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI *AIR-FUEL RATIO* (AFR)
TERHADAP PERFORMA DAN EMISI GAS
BUANG MESIN DIESEL MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR *CRUDE PALM OIL* DAN B40**



Oleh :

IVAN MAULANA
NPM. 21036010026

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK & SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2025**

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI AIR-FUEL RATIO (AFR) TERHADAP PERFORMA DAN
EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR
CRUDE PALM OIL DAN B40**

Skrripsi Ini Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu Dan Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Oleh:

Nama : Ivan Maulana
NPM : 21036010026
Konsentrasi : Konversi Energi

Telah Diuji Dalam Ujian Komprehensif Skripsi
Hari/Tanggal: Rabu, 3 September 2025

Telah Disahkan Oleh:

Tim Penguji :

1.

Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.
NIP. 19940428 202203 2 011

2.

Dr.T.Ir. Luluk Edahwati, MT.
NIP. 19640611 199203 2 001

Dosen Pembimbing

Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng
NIP. 19940726 202406 1 002

Koordinator Program Studi Teknik Mesin

Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T
NIP. 19640611 199203 2001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Jarivah, MP
NIP. 19650403 199103 2 001



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Ivan Maulana

NPM 21036010026

Program Studi : ~~Teknik Kimia / Teknik Industri / Teknologi Pangan /
Teknik Lingkungan / Teknik Sipil / Teknik Mesin~~

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi~~ *) ~~PRA RENCANA (DESAIN) / SEMINAR
PROPOSAL / SKRIPSI / TUGASAKHIR~~ Ujian Lisan Periode I, TA. 2025/2026.

Dengan judul: ANALISIS VARIASI *AIR-FUEL RATIO* (AFR) TERHADAP PERFORMA DAN
EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR
CRUDE PALM OIL DAN B40

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi

1. Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.

2. Dr.T.Ir. Luluk Edahwati, MT.

Surabaya, 3 September 2025

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Wiliandi Saputro, S.T., M. Eng

NIP. 199407262024061002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ivan Maulana
NPM : 21036010026
Program : Sarjana(S1)
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi/Tesis/Desertasi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 7 September 2025

Yang Membuat pernyataan



Ivan Maulana
21036010026

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat bagi mahasiswa Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur untuk menyelesaikan studinya. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan dalam penyusunan proposal ini.

1. Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P. selaku Dekan Fakultas Teknik Dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT. Selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Skripsi Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji 1 Skripsi Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
5. Dr.T.Ir. Luluk Edahwati, MT. selaku Dosen Penguji 2 Skripsi Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
6. Orang tua yang telah memberikan dukungan dan semangat serta doa kepada penulis.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan dukungan dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan Proposal Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Proposal Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, meskipun segala upaya telah dilakukan untuk

menyelesaikannya dengan sebaik mungkin. Kekurangan tersebut tentu tidak terlepas dari keterbatasan pengetahuan, pengalaman, maupun kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan penyempurnaan proposal ini ke depannya. Akhir kata, penulis berharap proposal ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi para pembaca.

Surabaya, 4 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR BEBAS REVISI.....	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Performa Mesin Diesel.....	7
2.2 Emisi Gas Buang Mesin Diesel.....	11
2.3 <i>Air-Fuel Ratio</i> (AFR)	14
2.4 Landasan Teori.....	16
2.4.1 Mesin Diesel.....	16
2.4.2 Siklus Termodinamika Mesin Diesel.....	17
2.4.3 Langkah Kerja Mesin Diesel	18
2.4.4 Biofuel	19
2.4.5 Crude Palm Oil (CPO).....	20

2.5	Performa Mesin Diesel	21
2.5.1	Daya Efektif.....	21
2.5.2	Torsi	22
2.5.3	Konsumsi Bahan Bakar	23
2.5.4	Efisiensi Termal	23
2.6	Emisi Gas Buang	24
2.6.1	Karbon Monoksida (CO).....	25
2.6.2	Hidrokarbon (HC)	25
2.6.3	Karbon Dioksida (CO ₂).....	25
2.6.4	Opasitas	25
2.7	<i>Air-Fuel Ratio</i>	26
2.8	Hipotesis	28
BAB III METODE PENELITIAN		30
3.1	Lokasi Penelitian	30
3.2	Variabel Penelitian	30
3.3	Diagram Alir	31
3.4	Skema Penelitian	32
3.4.1	Alat	32
3.4.2	Bahan	36
3.5	Kondisi Eksperimen	38
3.6	Proses Pengumpulan Data	39
3.6.1	Pra-Operasi dan set up	39
3.6.2	Kalibrasi dan <i>Testing</i>	40
3.6.3	Pengambilan Data.....	40
3.6.3.1	Performa Mesin	41
3.6.3.2	Temperatur Komponen	41
3.6.3.3	Emisi Gas Buang	41
3.6.3.4	Air-Fuel Ratio	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	<i>Air-Fuel Ratio</i>	43

4.2	Performa Mesin Diesel	44
4.2.1	<i>Brake Power</i>	44
4.2.2	<i>Torque</i>	46
4.2.3	<i>Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)</i>	47
4.2.4	<i>Brake Thermal Efficiency (BTE)</i>	49
4.3	<i>Engine Diesel Temperature</i>	50
4.3.1	<i>Cylinder Block Temperature</i>	51
4.3.2	<i>Cylinder Head Temperature</i>	52
4.3.3	<i>Intake Pipe Temperature</i>	54
4.3.4	<i>Exhaust Pipe Temperature</i>	55
4.3.5	<i>Coolant Tank Temperature</i>	57
4.4	Emisi Mesin Diesel.....	59
4.4.1	Karbon Monoksida (CO).....	59
4.4.2	Karbon Dioksida (CO ₂)	60
4.4.3	Hidrokarbon (HC)	62
4.4.4	<i>Smoke Opacity</i>	63
4.5	Standar Deviasi.....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN.....		76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Inisial Penyederhanaan penulisan campuran bahan bakar	11
Tabel 3. 1 Spesifikasi mesin diesel	32
Tabel 3. 2 Spesifikasi alternator	33
Tabel 3. 3 Spesifikasi heater CPO.....	34
Tabel 3. 4 Karakteristik CPO	36
Tabel 3. 5 Karakteristik B40	37
Tabel 3. 6 Kondisi eksperimen.....	38
Tabel 4. 1 Tabel air-fuel ratio pada setiap <i>power blower</i>	43
Tabel 4. 2 Nilai standar deviasi	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2018-2023	2
Gambar 1. 2 Penjualan Bahan Bakar Minyak Tahun 2018-2023.....	3
Gambar 1. 3 Grafik AFR terhadap torsi dan efisiensi termal.....	15
Gambar 2. 1 Grafik putaran mesin terhadap torsi	7
Gambar 2. 2 Grafik putaran mesin terhadap daya.....	8
Gambar 2. 3 Grafik putaran mesin terhadap torsi	8
Gambar 2. 4 Grafik putaran mesin terhadap daya mesin	9
Gambar 2. 5 Grafik putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar	9
Gambar 2. 6 Grafik putaran mesin terhadap SFC	10
Gambar 2. 7 Grafik putaran mesin terhadap torsi	10
Gambar 2. 8 Grafik putaran mesin terhadap SFC	10
Gambar 2. 9 Grafik putaran mesin terhadap efisiensi termal.....	11
Gambar 2. 10 Grafik putaran mesin terhadap CO(%).....	12
Gambar 2. 11 Grafik putaran mesin terhadap HC (ppm).....	12
Gambar 2. 12 Grafik putaran mesin terhadap CO ₂ (%)	13
Gambar 2. 13 Grafik putaran mesin terhadap CO (%).....	13
Gambar 2. 14 Grafik putaran mesin terhadap SO ₂	14
Gambar 2. 15 Diagram siklus mesin diesel (a) diagram P-V, (b) diagram T-S.....	17
Gambar 2. 16 Siklus mesin diesel 4 langkah	18
Gambar 2. 17 Grafik AFR terhadap emisi gas buang	27
Gambar 2. 18 Grafik AFR terhadap konsumsi bahan bakar dan tenaga mesin.....	28
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	31
Gambar 3. 2 Skema penelitian	32
Gambar 4. 1 Grafik daya.....	45
Gambar 4. 2 Grafik torsi	46
Gambar 4. 3 Grafik SFC	48
Gambar 4. 4 Grafik efisiensi termal.....	49

Gambar 4. 5 Grafik temperatur silinder blok	51
Gambar 4. 6 Grafik temperatur silinder head.....	53
Gambar 4. 7 Grafik <i>intake pipe temperature</i>	54
Gambar 4. 8 Grafik <i>exhaust pipe temperature</i>	56
Gambar 4. 9 Grafik <i>coolant tank temperature</i>	58
Gambar 4. 10 Grafik emisi CO	59
Gambar 4. 11 Grafik emisi CO ₂	61
Gambar 4. 12 Grafik emisi HC	62
Gambar 4. 13 Grafik opasitas asap	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel performa B40 1200 RPM.....	77
Lampiran 2. Tabel performa CPO 1200 RPM.....	77
Lampiran 3. Tabel performa B40 2000 RPM.....	78
Lampiran 4. Tabel performa CPO 2000 RPM.....	78
Lampiran 5. Tabel temperatur B40 1200 RPM.....	78
Lampiran 6. Tabel temperatur CPO 1200 RPM.....	79
Lampiran 7. Tabel temperatur B40 2000 RPM.....	79
Lampiran 8. Tabel temperatur CPO 2000 RPM.....	79
Lampiran 9. Tabel emisi B40 1200 RPM.....	79
Lampiran 10. Tabel emisi CPO 1200 RPM	80
Lampiran 11. Tabel emisi B40 2000 RPM.....	80
Lampiran 12. Tabel emisi CPO 2000 RPM	80
Lampiran 13 Tabel ketidakpastian tachometer.....	81
Lampiran 14 Tabel ketidakpastian multimeter arus	81
Lampiran 15 Tabel ketidakpastian multimeter tegangan	81
Lampiran 16 Tabel ketidakpastian stopwatch	82
Lampiran 17 Tabel ketidakpastian thermogun	82
Lampiran 18 Tabel ketidakpastian gas analyzer CO.....	82
Lampiran 19 Tabel ketidakpastian gas analyzer CO ₂	83
Lampiran 20 Tabel ketidakpastian gas analyzer HC.....	83
Lampiran 21 Tabel ketidakpastian smoke opacity	83
Lampiran 22. Pengambilan data.....	84
Lampiran 23. Biodata mahasiswa	85

DAFTAR NOTASI

P_g	= daya generator (kW)
V	= tegangan (V)
I	= arus (A)
P_{eff}	= daya poros mesin (kW)
η_{ovr}	= efisiensi generator dikali dengan efisiensi belt
τ	= torsi (Nm)
N	= putaran mesin (rpm)
SFC	= Specific fuel consumption (kg/kW.jam)
\dot{m}_f	= laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)
b	= volume Gelas ukur yang digunakan dalam pengujian (cm ³)
t	= waktu yang diperlukan untuk mengosongkan Gelas ukur (s)
ρ_{bb}	= massa jenis bahan bakar (kg/L)
η_f	= efisiensi termal (%)
QHV	= nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)
<i>AFR</i>	= <i>air-fuel ratio</i>
\dot{m}_{udara}	= laju aliran udara (kg/s)
\dot{m}_{bb}	= laju aliran bahan bakar (kg/jam)

ABSTRAK

Studi ini mengevaluasi pengaruh variasi daya blower dan kecepatan mesin terhadap performa serta temperatur komponen mesin diesel yang menggunakan bahan bakar B40 dan minyak sawit mentah (Crude Palm Oil/CPO) off-grade. Pengujian dilakukan pada mesin diesel Kubota RD 65 DI-NB dengan beban listrik konstan sebesar 4 kW pada dua tingkat putaran mesin, yaitu 1200 dan 2000 RPM. Sebelum digunakan, CPO off-grade dipanaskan hingga suhu 100°C untuk menurunkan viskositasnya, sementara B40 digunakan tanpa perlakuan khusus. Variasi suplai udara dilakukan dengan mengatur daya blower dari 0% hingga 100% untuk menganalisis pengaruhnya terhadap karakteristik termal mesin. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa B40 memberikan performa mesin yang lebih baik dibandingkan CPO. Pada 1200 RPM, penggunaan B40 menghasilkan peningkatan daya sebesar 5%, torsi 4,7%, dan efisiensi termal 26,5%. Sementara pada 2000 RPM, peningkatan masing-masing tercatat sebesar 4,6% untuk daya, 4,2% untuk torsi, dan 13,6% untuk efisiensi termal. Sebaliknya, konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC) pada CPO lebih tinggi, yaitu 24% pada 1200 RPM dan 15% pada 2000 RPM, akibat pengaruh viskositas dan densitas yang lebih tinggi. Dari segi temperatur, penggunaan CPO menyebabkan suhu komponen mesin meningkat, yang disebabkan oleh kandungan sulfur dan asam lemak bebas (FFA) yang cenderung membentuk deposit. Endapan ini menghambat aliran bahan bakar dan meningkatkan gesekan internal, sehingga memperparah akumulasi panas. Emisi gas buang dari CPO juga menunjukkan peningkatan signifikan, dengan kadar CO dan HC yang masing-masing naik sebesar 45,6% dan 99,1% pada 1200 RPM, serta 58,1% dan 129,3% pada 2000 RPM. Sebaliknya, emisi CO₂ dari CPO tercatat lebih rendah, yakni 17,3% pada 1200 RPM dan 19,8% pada 2000 RPM. Selain itu, opasitas asap dari pembakaran CPO juga lebih tinggi dibandingkan B40, masing-masing sebesar 19% dan 13,7% pada 1200 dan 2000 RPM, yang mengindikasikan pembakaran yang kurang sempurna akibat viskositas tinggi dan kandungan sulfur yang memperburuk proses oksidasi bahan bakar.

Kata kunci: *air-fuel ratio*, B40, *crude palm oil*, emisi, mesin diesel, performa.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of varying blower power and engine speed on the performance and component temperatures of a diesel engine fueled with B40 and off-grade crude palm oil (CPO). The experiments were conducted using a Kubota RD 65 DI-NB diesel engine under a constant electrical load of 4 kW at two engine speeds: 1200 and 2000 RPM. Prior to use, the off-grade CPO was preheated to 100°C to reduce its viscosity, while B40 was used without any special treatment. Air supply from the blower was varied from 0% to 100% to analyze its impact on the engine's thermal characteristics. Experimental results show that B40 provides better engine performance compared to CPO. At 1200 RPM, B40 resulted in increases of 5% in power, 4.7% in torque, and 26.5% in thermal efficiency. At 2000 RPM, the respective increases were 4.6% in power, 4.2% in torque, and 13.6% in thermal efficiency. On the other hand, the specific fuel consumption (SFC) of CPO was higher, with increases of 24% at 1200 RPM and 15% at 2000 RPM, due to its higher viscosity and density. In terms of temperature, the use of CPO led to higher engine component temperatures, caused by its sulfur content and free fatty acids (FFA), which tend to form deposits. These deposits obstruct fuel flow and increase internal friction, thereby intensifying heat buildup. Exhaust emissions from CPO combustion also showed significant increases, with CO and HC levels rising by 45.6% and 99.1% at 1200 RPM, and by 58.1% and 129.3% at 2000 RPM, respectively. Conversely, CO₂ emissions from CPO were lower, by 17.3% at 1200 RPM and 19.8% at 2000 RPM. Additionally, smoke opacity from CPO combustion was higher, recorded at 19% and 13.7% at 1200 and 2000 RPM respectively, indicating incomplete combustion due to high viscosity and sulfur content, which negatively affect the fuel oxidation process.

Keywords: air-fuel ratio, B40, crude palm oil, diesel engine, emissions, performance