



TUGAS AKHIR (ME4330)

**ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL EMPAT
LANGKAH MENGGUNAKAN PISTON DSCS BERBAHAN
BAKAR BIODIESEL B40 MINYAK NYAMPLUNG**

Rasendriya Sava Reswara

NRP. 0321040074

DOSEN PEMBIMBING:

EDI HARYONO, S.T., M.T.

Dra. DAISY DWIJATI K.R.A., M.Pd.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERMESINAN KAPAL

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

2026

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR (ME4330)

ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL EMPAT LANGKAH MENGGUNAKAN PISTON DSCS BERBAHAN BAKAR BIODIESEL B40 MINYAK NYAMPLUNG

Rasendriya Sava Reswara

NRP. 0321040074

DOSEN PEMBIMBING:

EDI HARYONO, S.T., M.T.

Dra. DAISY DWIJATI K.R.A., M.Pd.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERMESINAN KAPAL

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

2026

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL EMPAT LANGKAH MENGUNAKAN PISTON DSCS BERBAHAN BAKAR BIODIESEL B40 MINYAK NYAMPLUNG

Disusun Oleh:
Rasendriya Sava Reswara
0321040074

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji	NIDN / NUPTK	Tanda Tangan
1. Edi Haryono, S.T., M.T	(0011077804)	(.....)
2. Firly Irhamni Ahsan, S.T., M.T.	(4549774675130272)	(.....)
3. R. Dimas Endro Witjonarko, S.T., M.T.	(0012047610)	(.....)
4. Dra. Daisy Dwijati K.R.A., M.Pd.	(0001126109)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN	Tanda Tangan
1. Edi Haryono, S.T., M.T	(0011077804)	(.....)
2. Dra. Daisy Dwijati K.R.A., M.Pd.	(0001126109)	(.....)



Menyetujui
Ketua Jurusan,
Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP.197708192005011001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

Dr. Agung Purwana, S.T., M.T.
NIP.19761125005011003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021
Date : 3 Nopember
2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rasendriya Sava Reswara

NRP. : 0321040074

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal / D4 Teknik Permesinan Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Empat Langkah Menggunakan Piston DSCS
Berbahan Bakar Biodiesel B40 Minyak Nyamplung

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut,
maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 01 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,

Rasendriya Sava Reswara

NRP. 0321040074

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Empat Langkah Menggunakan Piston DSCS Berbahan Bakar Biodiesel B40 Minyak Nyamplung”.

Tugas Akhir ini dilaksanakan untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sebagai Sarjana Terapan Teknik pada Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Sebagai bentuk rasa syukur, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Kedua orang tua yang senantiasa berkorban dengan tulus dan tidak pernah berhenti dalam memberikan dukungan baik moril maupun materil, serta dukungan fisik maupun psikis selama penulis menempuh masa studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Seluruh keluarga yang memberikan dukungan kepada penulis selama menempuh masa studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
6. Bapak Dr. Agung Purwana, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal.
7. Ibu Lely Pramesti, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Permesinan Kapal.
8. Bapak Edi Haryono, S.T., M.T. selaku Pembimbing 1 yang memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.

9. Ibu Dra. Daisy Dwijati K.R.A., M.Pd. selaku Pembimbing 2 yang memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
10. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar yang telah memberikan ilmunya selama penulis melakukan studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
11. Seluruh REKAN PROGRAM STUDI TEKNIK PERMESINAN KAPAL atas bantuan dan kerja samanya selama menjalankan studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
12. Serta seluruh pihak yang terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu kelancaran Tugas Akhir ini.

Penulis memohon maaf bila terdapat banyak kesalahan dalam penulisan ini. Penulis juga menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi terciptanya penulisan Tugas Akhir yang lebih baik. Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi orang lain dan lingkungan sekitar.

Surabaya, 28 Juni 2026

Penulis



Rasendriya Sava Reswara

ANALISIS UNJUK KERJA MESIN DIESEL EMPAT LANGKAH MENGUNAKAN PISTON DSCS BERBAHAN BAKAR BIODIESEL B40 MINYAK NYAMPLUNG

Rasendriya Sava Reswara

ABSTRAK

Bahan bakar biodiesel B40 Minyak nyamplung menjadi salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Minyak nyamplung dipilih karena ketersediannya yang melimpah di wilayah pesisir Indonesia. Pengujiannya dilakukan menggunakan mesin diesel 4 langkah (merek Jiandong Jianghui ZH1115N) menggunakan variasi piston DSCS (*Double Swirl Combustion System*) sehingga dapat menghasilkan dua aliran pusaran udara dalam ruang bakar dan pembakarannya berlangsung lebih cepat dan sempurna. Proses pembuatan bahan bakar tersebut melalui proses *degumming*, esterifikasi, transesterifikasi, pencucian, dan pengeringan. Kemudian bahan bakar tersebut diuji untuk mengetahui nilai karakteristik yang meliputi titik nyala, viskositas, densitas, angka setana dan nilai kalor. Pencampuran Pertamina Dex sebesar 60% dan minyak nyamplung 40% menghasilkan biodiesel B40. Lalu biodiesel tersebut dimasukkan dalam mesin diesel, diuji dan dianalisa untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja mesin tersebut yang meliputi daya, torsi, BSFC, BMEP dengan variasi bahan bakar berupa biodiesel B40 minyak nyamplung, biosolar, dan Pertamina Dex. Pengujian unjuk kerja tersebut menunjukkan bahwa Biodiesel B40 minyak nyamplung memiliki efisiensi konsumsi bahan bakar terbaik berdasarkan nilai BSFC dan nilai terendah berada 1300 – 1400 rpm analisis *diesel engine fuel map*, sedangkan Pertamina Dex menghasilkan daya, torsi, dan BMEP tertinggi pada sebagian besar kondisi pengujian.

Kata kunci: Unjuk kerja mesin diesel, piston DSCS, biodiesel B40, minyak nyamplung, unjuk kerja mesin.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PERFORMANCE ANALYSIS of a FOUR STROKE DIESEL ENGINE with
DSCS PISTON FUELED by B40 BIODIESEL DERIVED from
NYAMPLUNG SEED OIL**

Rasendriya Sava Reswara

ABSTRACT

B40 biodiesel derived from nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) seed oil serves as an alternative to non-renewable fossil fuels. Nyamplung seed oil was selected due to its abundant availability in Indonesia's coastal regions. Testing was conducted using a 4-stroke diesel engine (Jiandong Jianghui ZH1115N) equipped with a DSCS (Double Swirl Combustion System) piston. This design generates two air swirl flows within the combustion chamber, allowing the combustion process to run faster and more completely. The fuel production process involved degumming, esterification, transesterification, washing, and drying. Subsequently, the fuel was tested to determine characteristic values, including flash point, viscosity, density, cetane number, and calorific value. A mixture of 60% Pertamina Dex and 40% nyamplung seed oil produced B40 biodiesel. This biodiesel was then used in a diesel engine and tested and analyzed to determine its performance in terms of power, torque, BSFC, and BMEP with various fuels: nyamplung oil B40 biodiesel, Biosolar, and Pertamina Dex. The performance testing indicates that nyamplung oil-based B40 biodiesel exhibits the best fuel consumption efficiency based on BSFC values, with an optimum value in the 1300-1400 rpm range, according to the diesel engine fuel map analysis. Pertamina Dex, however, yielded the highest power, torque, and BMEP under most testing conditions.

Keywords: Diesel engine performance, DSCS piston, B40 biodiesel, nyamplung seed oil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Mesin Diesel.....	7
2.2.1 Prinsip Dasar Pembakaran Mesin Diesel 4 Langkah	8
2.2.2 Tahapan proses pembakaran	9
2.3 Piston.....	11
2.4 Variasi Piston DSCS (<i>Double Swirl Combution System</i>)	13
2.5 Generator	14
2.6 Minyak Solar (HSD)	16
2.7 Biosolar Komersial.....	17
2.8 Biodiesel.....	17
2.9 Minyak Biji Nyamplung.....	20
2.10 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	21
2.11 Viskositas	21
2.12 Densitas	21
2.13 Angka Setana.....	22
2.14 Nilai Kalor.....	23

2.15	Pertimbangan Pemilihan rpm	23
2.16	Parameter Perhitungan Mesin Diesel	24
2.16.1	Daya Mesin	24
2.16.2	Torsi	24
2.16.3	Konsumsi Bahan Bakar	25
2.16.4	<i>Brake Spesific Fuel Consumption</i> (BSFC)	25
2.16.5	<i>Brake Mean Effective Pressure</i> (BMEP)	26
2.16.6	<i>Mean Piston Speed</i>	27
2.17	<i>Diesel Engine Fuel Map</i>	27
2.18	Alat Ukur	28
2.18.1	<i>Stopwatch Digital</i>	29
2.18.2	<i>Avometer</i>	29
2.18.3	<i>Tachometer</i>	30
BAB 3 METODE PENELITIAN		31
3.1	Sumber Data	31
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan	33
3.2.1	Tempat Pelaksanaan	33
3.2.2	Waktu Pelaksanaan	34
3.3	Variabel Penelitian	34
3.3.1	Variabel Terikat	34
3.3.2	Variabel Bebas	34
3.4	Diagram Alir Penelitian	35
3.5	Tahapan Penelitian	36
3.5.1	Mulai	36
3.5.2	Perumusan Masalah	36
3.5.3	Studi Literatur	36
3.5.4	Pengecekan Komponen Pada Mesin Diesel	36
3.5.5	Piston DSCS <i>Set Up</i>	36
3.5.6	Penggunaan Bahan Bakar Pertamina Dex dan Bio Solar Komersial	37
3.5.7	Pembuatan Biodiesel B100 Minyak Nyamplung	37
3.5.8	Pembuatan Biodiesel B40	37

3.5.9 Uji Karakteristik Biodiesel B40	37
3.5.10 Pengujian dan Pengambilan Data.....	37
3.5.11 Perhitungan Daya, torsi, BMEP, dan BSFC.....	40
3.5.12 Analisis dan Pembahasan	40
3.5.13 Kesimpulan dan Saran.....	40
3.5.14 Selesai.....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pembuatan Biodiesel Minyak Nyamplung.....	41
4.1.1 <i>Degumming</i>	41
4.1.2 Esterifikasi.....	41
4.1.3 Pencucian.....	42
4.1.4 Pengeringan	43
4.1.5 Transertifikasi.....	43
4.1.6 Pencucian.....	43
4.1.7 Pengeringan	43
4.1.8 Proses Pembuatan B40	44
4.1.9 Hasil Uji Karakteristik Biodiesel Minyak Nyamplung	44
4.2 <i>Engine Set Up</i> Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	46
4.2.1 Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	50
4.2.2 Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Mesin Dengan Piston DSCS.....	52
4.3 Analisis <i>Engine Diesel Fuel map</i>	70
4.3.1 Analisis <i>Engine Diesel Fuel Map</i> Pada Beban 2000 W	71
4.3.2 Analisis <i>Engine Diesel Fuel Map</i> Pada Beban 3000 W	74
4.3.3 Analisis <i>Engine Diesel Fuel Map</i> Pada Beban 4000 W	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	87
BIODATA PENULIS.....	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu.....	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Bahan Bakar	17
Tabel 2. 3 Standar SNI 7182	19
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Diesel 2 Langkah.....	31
Tabel 3. 2 Spesifikasi Generator	32
Tabel 3. 3 Format Hasil Pengujian.....	38
Tabel 3. 4 Format Hasil Pengujian.....	38
Tabel 3.5 Format Hasil Pengujian.....	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Mesin Diesel.....	8
Gambar 2. 2 Grafik sudut engkol terhadap temperatur.....	9
Gambar 2. 3 Piston.....	11
Gambar 2. 4 Piston Modifikasi DSCS	14
Gambar 2. 5 Rangkaian Generator AC	15
Gambar 2. 6 Rangkaian Generator DC	15
Gambar 2. 7 Produk Pertamina	16
Gambar 2. 8 Skema Produksi Biodisel	18
Gambar 2. 9 Minyak Biji Nyamplung.....	20
Gambar 2. 10 <i>Engine Performance Fuel Map</i>	28
Gambar 2. 11 <i>Stopwatch digital</i>	29
Gambar 2. 12 <i>Avometer</i>	29
Gambar 2. 13 <i>Tachometer</i>	30
Gambar 3. 1 Jiangdong Four Stroke Diesel Engine ZH1115N.....	31
Gambar 3. 2 Jiangdong <i>Diesel Engine</i> Dikopel dengan Generator	32
Gambar 3. 3 Ukuran Piston Modifikasi DSCS	33
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4. 1 Proses <i>Degumming</i>	41
Gambar 4. 2 Proses Esterifikasi	42
Gambar 4. 3 Proses Pencucian	42
Gambar 4. 4 Proses Transertifikasi	43
Gambar 4. 5 Proses Pengeringan	44
Gambar 4. 6 Hasil B40 dan B100	44
Gambar 4. 7 Diagram <i>Engine Set Up</i>	46
Gambar 4. 8 Grafik Daya <i>Engine Set Up</i> Pertamina Dex	48
Gambar 4. 9 Grafik Torsi <i>Engine Set Up</i> Pertamina Dex	49
Gambar 4. 10 Grafik BSFC <i>Engine Set Up</i> Pertamina Dex.....	49
Gambar 4. 11 Grafik BMEP <i>Engine Set Up</i> Pertamina Dex	50
Gambar 4. 12 Grafik Daya Beban 2000.....	53
Gambar 4. 13 Grafik Daya Beban 3000.....	54

Gambar 4. 14 Grafik Beban 4000.....	55
Gambar 4. 15 Grafik Torsi Beban 2000	57
Gambar 4. 16 Grafik Torsi Beban 3000	58
Gambar 4. 17 Grafik Torsi Beban 4000	60
Gambar 4. 18 Grafik BFSC Beban 2000.....	62
Gambar 4. 19 Grafik BFSC beban 3000.....	63
Gambar 4. 20 Grafik BFSC beban 4000.....	64
Gambar 4. 21 Grafik BMEP beban 2000	66
Gambar 4. 22 Grafik BMEP beban 3000	67
Gambar 4. 23 Grafik BMEP beban 4000	69
Gambar 4. 24 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Biosolar pada beban 2000 W	71
Gambar 4. 25 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Pertamina Dex pada beban 2000 W.....	71
Gambar 4. 26 <i>Engine Diesel Fuel map</i> B40 Minyak Nyamplung pada beban 2000 W	72
Gambar 4. 27 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Biosolar pada beban 3000 W	74
Gambar 4. 28 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Pertamina Dex pada beban 3000 W.....	74
Gambar 4. 29 <i>Engine Diesel Fuel map</i> B40 Minyak Nyamplung pada beban 3000 W	75
Gambar 4. 30 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Biosolar pada beban 4000 W	77
Gambar 4. 31 <i>Engine Diesel Fuel map</i> Pertamina Dex pada beban 4000 W.....	77
Gambar 4. 32 <i>Engine Diesel Fuel map</i> B40 Minyak Nyamplung pada beban 4000 W	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam berbagai bidang, seperti transportasi, industri, dan pembangkit tenaga listrik, mesin diesel menjadi pilihan utama sebagai mesin pembakaran dalam karena dikenal memiliki performa dengan efisiensi termal yang tinggi, ketahanan operasional yang baik, dan keandalan dalam penggunaan jangka panjang, serta kemampuan menghasilkan torsi besar pada putaran rendah. Keunggulan tersebut menjadikan mesin diesel tetap menjadi pilihan utama dalam mendukung kebutuhan energi, khususnya pada aplikasi beban berat. Namun demikian, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil berupa solar menimbulkan permasalahan serius, antara lain keterbatasan cadangan energi (Fadly, 2021).

Dalam rangka mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, pemerintah Indonesia telah menerapkan berbagai langkah untuk mendorong pemanfaatan sumber energi alternatif melalui program mandatori yang telah berkembang secara bertahap hingga implementasi campuran biodiesel skala nasional. Keberhasilan program tersebut menunjukkan bahwa biodiesel memiliki potensi besar untuk meningkatkan ketahanan energi sekaligus mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Seiring dengan perkembangan tersebut, penelitian mengenai penggunaan biodiesel dengan persentase campuran yang lebih tinggi, seperti B40, menjadi penting untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja mesin diesel (Wirawan et al., 2024).

Sebagai tanaman yang tidak dimanfaatkan untuk kebutuhan pangan, nyamplung memiliki prospek yang baik sebagai sumber bahan baku biodiesel. Hal ini didukung oleh kandungan minyaknya yang berkisar 40–70% serta keberadaan asam lemak utama, seperti asam oleat, asam linoleat, asam palmitat, dan asam stearat, yang dapat diolah menjadi bahan bakar biodiesel. Ketersediaannya yang melimpah di wilayah pesisir Indonesia menjadikan minyak nyamplung sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk mendukung pengembangan biodiesel nasional (Handayani et al., 2020; Wirawan et al., 2024).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, penggunaan biodiesel B40

berbahan dasar minyak biji nyamplung dapat menyebabkan perubahan sifat fisik bahan bakar jika dibandingkan dengan solar konvensional, terutama pada nilai viskositas dan densitas. Perubahan karakteristik tersebut berpotensi memengaruhi proses atomisasi selama penyemprotan bahan bakar, pencampuran antara bahan bakar dan udara, serta efektivitas pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Kondisi tersebut dapat berdampak pada unjuk kerja mesin apabila sistem pembakaran tidak mampu mengoptimalkan proses pencampuran bahan bakar dan udara, sehingga diperlukan inovasi pada desain ruang bakar untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran (Wirawan et al., 2024).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas pembakaran adalah melakukan inovasi pada sistem pembakaran mesin diesel, terutama melalui modifikasi desain piston pada ruang bakar. Desain piston yang mampu menghasilkan aliran udara berputar (*swirl*) di dalam ruang bakar terbukti dapat meningkatkan kualitas pencampuran udara dan bahan bakar. Dengan pencampuran bahan bakar yang terdistribusi secara merata di antara molekul udara, proses pembakaran dapat berlangsung lebih cepat dan lebih sempurna sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran mesin diesel (Indah Kurniasari, 2025).

Salah satu inovasi desain piston yang telah dikembangkan adalah *Double Swirl Combustion System* (DSCS). Sistem ini dirancang untuk menghasilkan dua pusaran udara di dalam ruang bakar sehingga tingkat turbulensi meningkat dan distribusi campuran bahan bakar dengan udara menjadi lebih merata. Penerapan piston DSCS diharapkan mampu memperbaiki karakteristik pembakaran, terutama pada penggunaan bahan bakar biodiesel dengan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan solar (Indah Kurniasari, 2025).

Optimalisasi proses pembakaran melalui penerapan piston DSCS diperkirakan dapat meningkatkan performa mesin diesel. Perbaikan tersebut dapat ditunjukkan melalui kenaikan daya dan torsi yang dihasilkan, serta penurunan konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*). Dengan demikian penelitian mengenai penerapan piston DSCS pada mesin diesel yang menggunakan biodiesel B40 menjadi penting untuk dilakukan sebagai upaya mengevaluasi peningkatan kinerja mesin diesel (Indah Kurniasari, 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan biodiesel

B40 dan piston DSCS terhadap parameter unjuk kerja mesin diesel, seperti daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi mesin diesel yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mendukung pemanfaatan energi terbarukan berbasis sumber daya lokal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan di bahas dalam penelitian ini

1. Berapa nilai karakteristik bahan bakar B40 “Minyak Nyamplung” meliputi titik nyala, viskositas, densitas, angka setana, nilai kalor?
2. Bagaimana unjuk kerja motor diesel meliputi daya, torsi, BSFC, BMEP yang dihasilkan dari penggunaan piston DSCS menggunakan variasi bahan bakar B40 minyak nyamplung, biosolar komersial, pertamina dex?
3. berapa nilai optimal bahan bakar yang ditinjau dari nilai BSFC menggunakan diesel *engine fuel map*?

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian yang akan dicapai dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai karakteristik bahan bakar B40 “Minyak Nyamplung” meliputi titik nyala, viskositas, densitas, angka setana, nilai kalor.
2. Mengetahui perbandingan unjuk kerja motor diesel meliputi daya, torsi, BSFC, BMEP yang dihasilkan dari penggunaan piston DSCS dengan menggunakan variasi bahan bakar B40 minyak nyamplung, biosolar komersial, pertamina dex.
3. Mengetahui nilai optimal bahan bakar yang ditinjau dari nilai BSFC menggunakan diesel *engine fuel map*.

1.4 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini disusun dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk percobaan atau penelitian selanjutnya.
2. Penelitian ini dapat menjadi sarana pembelajaran bagi peneliti dalam

pengaruh biodiesel dari minyak nyamplung menggunakan variasi piston DSCS terhadap unjuk kerja mesin diesel.

3. Dapat memberikan wawasan dan pengetahuan kepada pembaca terkait
4. memahami proses pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung menjadi B40 minyak nyamplung.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini terbatas pada mesin diesel 4 langkah *Merk Jiangdong* milik PoltekNIK Perkapalan Negeri Surabaya dengan modifikasi piston *Double Swirl Combustion System* (DSCS).
2. Penelitian ini hanya menguji tiga jenis bahan bakar, yaitu Biodiesel B40 Minyak Nyamplung, Pertamina Dex, dan Biosolar komersial. Bahan bakar diesel lainnya tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.
3. Pada pengujian ini variasi yang digunakan untuk pembebanan sebesar 2000 *Watt*, 3000 *Watt*, dan 4000 *Watt*.
4. Pada pengujian ini variasi yang digunakan ialah putaran mesin sebesar 1000 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, 1400 rpm.
5. Penelitian ini tidak mencakup emisi gas buang dan biaya operasional.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada tabel 2.1 menyajikan ringkasan berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Informasi yang disajikan meliputi identitas peneliti, objek penelitian, serta fokus kajian yang telah dilakukan. Selain itu, tabel tersebut juga menjelaskan persamaan dan perbedaan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan. Melalui perbandingan tersebut dapat diketahui posisi penelitian ini dalam pengembangan ilmu pengetahuan sekaligus kontribusi yang diberikan terhadap hasil penelitian ini bersumber dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No	Judul,dan Peneliti	Persamaan	Perbedaan
1.	Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung Secara Esterifikasi – Transesterifikasi (Rudi Hartono et al., 2021)	Penelitian ini memiliki kesamaan dalam hal pemanfaatan minyak biji nyamplung sebagai bahan baku biodiesel. Selain itu, kedua penelitian sama-sama menekankan pentingnya analisis karakteristik bahan bakar, khususnya densitas dan viskositas, sebagai parameter utama yang memengaruhi proses pembakaran pada mesin diesel.	Penelitian ini tidak melibatkan pengujian performa mesin diesel, sehingga tidak menganalisis parameter daya, torsi, BSFC, maupun BMEP. Selain itu, penelitian tersebut tidak mengkaji pengaruh modifikasi desain piston, khususnya piston DSCS, terhadap kinerja mesin diesel.
2	Pembuatan	Persamaan penelitian ini	Penelitian ini berhenti

No	Judul,dan Peneliti	Persamaan	Perbedaan
	Biodiesel Dari Minyak Nyamplung Dengan Menggunakan Katalis Berbasis Kalsium (Christina et al., 2011)	terletak pada objek Penelitian berupa biodiesel minyak biji nyamplung serta pengujian sifat fisik dan kimia bahan bakar untuk memastikan kesesuaiannya terhadap standar bahan bakar diesel. Kedua penelitian sama-sama menempatkan karakteristik bahan bakar sebagai aspek penting sebelum diaplikasikan pada mesin.	pada tahap produksi dan karakterisasi biodiesel, tanpa melakukan aplikasi langsung pada mesin diesel. Penelitian ini juga tidak melibatkan variasi desain piston maupun analisis unjuk kerja mesin, sehingga ruang lingkupnya lebih terbatas dibandingkan penelitian ini.
3	Studi Komparasi Modifikasi Piston Double Swirl Combustion System (DSCS) pada Motor Diesel Empat Langkah Satu Silinder Menggunakan Variasi Bahan Bakar Solar Komersial (Indah Kurniasari, 2025)	Penelitian ini memiliki persamaan dalam penggunaan piston Direct Swirl Combustion System (DSCS) dan menganalisis unjuk kerja mesin diesel empat langkah melalui parameter daya, torsi, dan BSFC. Keduanya menekankan bahwa peningkatan swirl mampu meningkatkan efisiensi pembakaran.	Penelitian ini hanya menggunakan bahan bakar konvensional, dan berfokus pada modifikasi piston DSCS itu sendiri, sedangkan pada penelitian yang saya lakukan ini mengombinasikan piston DSCS dengan variasi bahan bakar biodiesel B40 Minyak Biji Nyamplung.

No	Judul,dan Peneliti	Persamaan	Perbedaan
4	Studi komparasi unjuk kerja dscs (double swirl combustion system) piston chamber dan flat piston chamber pada motor diesel 4 langkah 1 silinder (Zaka, 2025)	Persamaan penelitian ini terdapat pada tujuan untuk menganalisis pengaruh desain piston DSCS terhadap unjuk kerja mesin diesel. Keduanya sama-sama menitikberatkan pada peran geometri ruang bakar dalam meningkatkan kualitas pembakaran dan performa mesin.	Di dalam penelitian ini tidak menggunakan bahan bakar biodiesel, serta tidak mengkaji karakteristik biodiesel, Fokus penelitian lebih diarahkan pada perbandingan unjuk kerja piston standar dan piston DSCS, sehingga tidak membahas pengaruh interaksi antara desain piston dan jenis bahan bakar terhadap performa mesin diesel.

2.2 Mesin Diesel

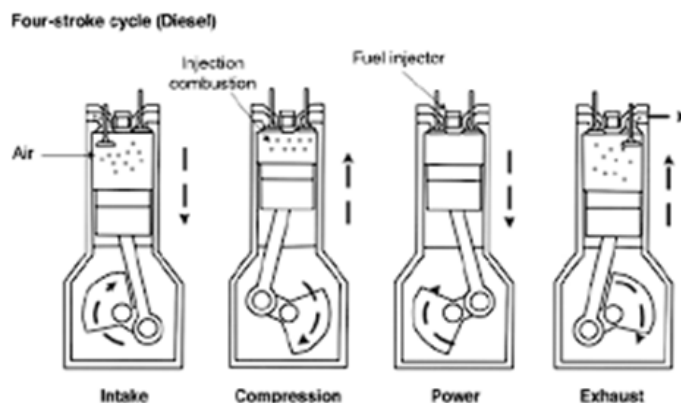
Mesin diesel merupakan salah satu jenis motor bakar torak (*internal combustion engine*) yang proses pembakarannya terjadi akibat penyalaan sendiri (*self-ignition*). Berbeda dengan motor bensin yang menggunakan busi sebagai sumber penyalaan, pada mesin diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar yang telah terisi udara dengan tekanan dan temperatur tinggi, sehingga memicu terjadinya proses pembakaran. secara spontan (Yufitriani Littik, 2022).

Mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip *compression ignition engine* (CIE), yaitu penyalaan bahan bakar terjadi karena temperatur udara hasil kompresi telah melampaui temperatur nyala bahan bakar. Untuk mencapai kondisi tersebut, mesin diesel menggunakan rasio kompresi yang tinggi (Yufitriani Littik, 2022).

Performa mesin diesel umumnya dievaluasi berdasarkan beberapa parameter utama, antara lain tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*), daya indikator, daya efektif, kecepatan torak, torsi, serta konsumsi bahan bakar spesifik.

Parameter-parameter tersebut sangat dipengaruhi oleh desain mesin dan kondisi operasi seperti putaran mesin dan beban (Fadly, 2021; Yufitriani Littik, 2022).

2.2.1 Prinsip Dasar Pembakaran Mesin Diesel 4 Langkah



Gambar 2. 1 Siklus Mesin Diesel

sumber : (Fadly, 2021)

Berikut merupakan langkah kerja mesin diesel 4 langkah :

Pada langkah pertama (*intake*), piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB), sementara katup masuk dalam kondisi terbuka dan katup buang tertutup. Pada tahap ini, udara murni masuk ke dalam silinder tanpa adanya campuran bahan bakar.

Pada langkah kedua (*compression*), piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA) dengan kedua katup dalam kondisi tertutup. Pergerakan piston tersebut menyebabkan udara di dalam silinder mengalami kompresi hingga mencapai rasio kompresi yang tinggi, sehingga tekanan dan temperatur udara meningkat secara signifikan (Ahmad Yani, 2022).

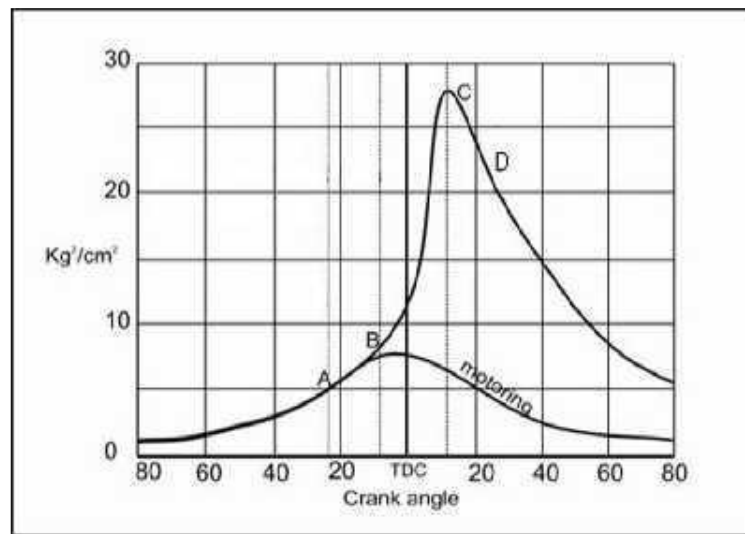
Pada langkah ketiga (*power*), terjadi proses pembakaran sekaligus langkah usaha yang menghasilkan tenaga mesin. Bahan bakar diesel diinjeksikan ke dalam ruang bakar sesaat sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (TMA). Bahan bakar tersebut kemudian bercampur dengan udara yang memiliki temperatur dan tekanan tinggi hingga mengalami penyalan secara spontan. Pembakaran yang terjadi menghasilkan peningkatan tekanan gas di dalam silinder, yang selanjutnya mendorong piston bergerak dari TMA menuju Titik Mati Bawah (TMB) dan

menghasilkan energi mekanik yang diteruskan melalui poros engkol.

Pada langkah keempat (*exhaust*), berlangsung proses pembuangan gas hasil pembakaran dari dalam silinder. Piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA) dengan katup buang terbuka, sehingga gas sisa pembakaran terdorong keluar dari ruang silinder (Ahmad Yani, 2022).

2.2.2 Tahapan proses pembakaran

Proses pembakaran pada mesin diesel dibagi menjadi beberapa fase:



Gambar 2. 2 Grafik sudut engkol terhadap temperatur
Sumber : (Farizy, 2025)

1. *Ignition Delay* (Penundaan Penyalaan)

Ignition delay period merupakan selang waktu antara saat bahan bakar mulai diinjeksikan ke dalam ruang bakar hingga terjadinya awal proses pembakaran. Pada tahap ini, bahan bakar telah berada dalam kondisi siap terbakar, tetapi belum mengalami penyalaan. Bahan bakar yang diinjeksikan berbentuk butiran halus (kabut) sehingga dapat bercampur dengan udara hasil langkah hisap dan membentuk campuran yang mudah terbakar. Oleh karena itu, fase ini sering disebut sebagai periode persiapan pembakaran atau periode keterlambatan penyalaan (*delay period*), yang pada diagram ditunjukkan oleh titik A–B. Lamanya *ignition delay* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas penyalaan bahan bakar (*cetane number*), putaran mesin, serta rasio kompresi.

2. *Rapid Combustion* (Pembakaran Terkendali Sendiri)

Fase *rapid* atau *uncontrolled combustion* (*pre-mixed combustion*) merupakan tahap pembakaran yang terjadi sesaat setelah bahan bakar mengalami penyalan (*ignition*). Pada fase ini, tekanan di dalam ruang bakar meningkat dengan sangat cepat karena bahan bakar yang telah diinjeksikan selama periode *ignition delay* telah bercampur dengan udara secara cukup merata. Campuran bahan bakar dan udara tersebut kemudian terbakar dalam waktu yang relatif bersamaan, menghasilkan laju pelepasan panas yang tinggi serta menyebabkan peningkatan tekanan yang signifikan di dalam silinder. Tahap *rapid* atau *uncontrolled combustion* berlangsung sejak berakhirnya periode keterlambatan penyalan hingga tercapainya tekanan maksimum di dalam silinder, yang pada diagram ditunjukkan oleh titik B–C (SHIMMAMAH, 2017).

3. *Controlled Combustion* (Pembakaran Terkendali)

Periode kedua, yaitu *rapid combustion* (*uncontrolled combustion*), kemudian diikuti oleh tahap ketiga yang disebut *controlled combustion*. Pada akhir tahap *rapid combustion*, temperatur dan tekanan di dalam ruang bakar telah meningkat secara signifikan sehingga bahan bakar yang diinjeksikan pada tahap akhir injeksi dapat langsung terbakar sesaat setelah memasuki ruang bakar. Pada fase ini, laju kenaikan tekanan tidak lagi berlangsung secara tiba-tiba, melainkan dapat dikendalikan melalui pengaturan laju injeksi bahan bakar. Oleh karena itu, proses pembakaran berlangsung lebih stabil hingga mencapai temperatur maksimum dalam satu siklus pembakaran. Pada diagram, periode *controlled combustion* ditunjukkan oleh titik C–D (SHIMMAMAH, 2017).

4. *After Burning* (Pembakaran Lanjut)

Secara teoritis, proses pembakaran diharapkan selesai pada akhir tahap *controlled combustion*. Namun, dalam kondisi aktual masih terdapat partikel bahan bakar yang belum terbakar secara sempurna akibat distribusi campuran bahan bakar dan udara yang kurang merata. Akibatnya, proses pembakaran tetap berlangsung selama sisa langkah ekspansi. Fase ini dikenal sebagai *after burning* atau pembakaran lanjutan, yang pada diagram ditunjukkan oleh titik D–E (SHIMMAMAH, 2017).

2.3 Piston

Piston merupakan salah satu komponen penting dalam mesin pembakaran dalam yang berperan menerima gaya akibat tekanan gas hasil pembakaran di dalam silinder, kemudian meneruskan gaya tersebut menuju poros engkol melalui *connecting rod*. Piston bekerja secara bolak-balik di dalam silinder serta mengalami beban mekanis dan termal yang tinggi, sehingga desain dan material piston harus mampu menahan tekanan, temperatur tinggi, dan keausan selama operasi mesin berlangsung (Shah et al., 2017).



Gambar 2. 3 Piston

Sumber : (Kumar et al., 2019)

Piston terdiri dari beberapa bagian penting yang masing-masing memiliki fungsi spesifik. Komponen utama piston meliputi:

1. *Crown* (Mahkota Piston)

Crown piston adalah bagian paling atas dari piston yang langsung berhubungan dengan ruang bakar. Bagian ini menerima tekanan maksimum akibat pembakaran serta temperatur tertinggi selama siklus kerja mesin. Oleh karena itu, *crown* dirancang dengan ketebalan dan bentuk tertentu seperti datar, cekung, atau piston bowl untuk meningkatkan kekuatan struktural serta kualitas pembakaran, khususnya pada mesin diesel (Shah et al., 2017).

2. *Piston Rings* (Ring Piston)

Ring piston berfungsi untuk menjaga kerapatan antara piston dan dinding silinder agar gas pembakaran tidak bocor ke ruang engkol, serta membantu perpindahan panas dari piston ke dinding silinder. Selain itu, ring piston juga berperan dalam pengendalian pelumasan di dalam silinder sehingga konsumsi oli tetap terkendali (Shah et al., 2017).

- a. *Top Compression Ring*

Top compression ring terletak paling dekat dengan *crown* piston dan berfungsi utama menahan tekanan gas pembakaran agar tidak terjadi kebocoran gas (blow-by). Ring ini bekerja pada temperatur dan tekanan tertinggi dibandingkan ring lainnya sehingga memerlukan material dengan ketahanan panas dan keausan yang tinggi (Shah et al., 2017).

b. *Second Compression Ring*

Second compression ring berfungsi sebagai ring pendukung bagi top compression ring dengan menahan sisa tekanan gas yang lolos serta membantu mengontrol distribusi oli pada dinding silinder. *Ring* ini juga berperan dalam mengurangi keausan dan meningkatkan efisiensi penyegelan (Linzi Yan, Jinyan Ma, Jing Li, 2017).

c. *Oil Control Ring*

Oil control ring berfungsi mengatur jumlah oli pelumas pada dinding silinder dengan cara mengikis kelebihan oli dan mengembalikannya ke ruang engkol. Fungsi ini penting untuk mencegah oli masuk ke ruang bakar yang dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan pembentukan deposit karbon (Linzi Yan, Jinyan Ma, Jing Li, 2017).

3. *Skirt* (Rok Piston)

Skirt piston adalah bagian bawah piston yang berfungsi sebagai penopang gaya samping akibat sudut kerja *connecting rod*. Skirt membantu menjaga kestabilan gerak piston di dalam silinder, mengurangi getaran, serta mencegah kontak langsung antara piston dan dinding silinder yang dapat menyebabkan keausan berlebih (Linzi Yan, Jinyan Ma, Jing Li, 2017).

4. *Pin Piston* (*Wrist Pin*)

Pin piston berfungsi menghubungkan piston dengan *connecting rod* dan memungkinkan terjadinya gerakan putar antara kedua komponen tersebut. Pin piston umumnya terbuat dari baja paduan berkekuatan tinggi dan bekerja pada kondisi beban siklik serta temperatur tinggi. Kegagalan pada pin piston berpotensi menimbulkan kerusakan parah pada sistem piston dan *connecting rod* (Shah et al., 2017).

5. *Snap Ring* (Cincin Pengunci)

Snap ring digunakan pada sistem piston pin tipe *full floating* untuk

mencegah pergeseran aksial pin piston. Cincin pengunci ini berfungsi menjaga agar pin piston tetap berada pada posisinya dan tidak menyentuh dinding silinder, yang dapat menyebabkan goresan serta kerusakan pada cylinder liner (Linzi Yan,Jinyan Ma,Jing Li, 2017).

6. *Connecting Rod Shaft* (Batang Penghubung)

Connecting rod shaft berfungsi meneruskan gaya dari piston ke crankshaft dan Mengonversi gerakan bolak-balik piston menjadi gerakan rotasi. Komponen ini bekerja pada kondisi tarik dan tekan secara berulang akibat proses pembakaran, sehingga memerlukan material dengan kekuatan tinggi dan ketahanan lelah yang baik (Shah et al., 2017).

7. *Bearings* (Bantalan)

Bantalan pada connecting rod berfungsi mengurangi gesekan antara *connecting rod* dan *crankshaft journal*. Bantalan ini bekerja dengan bantuan sistem pelumasan oli dan dirancang untuk menahan beban dinamis yang tinggi selama mesin beroperasi (Linzi Yan,Jinyan Ma,Jing Li, 2017).

8. *Connecting Rod Cap* (Tutup Batang Penghubung)

Connecting rod cap merupakan bagian bawah *connecting rod* yang dapat dilepas dan berfungsi menjepit bantalan pada *crankshaft journal*. Komponen ini memungkinkan proses perakitan dan pembongkaran *connecting rod* pada poros engkol (Linzi Yan,Jinyan Ma,Jing Li, 2017).

9. *Connecting Rod Bolts* (Baut Pengikat)

Connecting rod bolts berfungsi mengikat *connecting rod cap* dengan *connecting rod shaft*. Baut ini harus memiliki kekuatan tarik yang tinggi karena menerima beban dinamis besar selama mesin bekerja. Kegagalan baut pengikat dapat menyebabkan kerusakan fatal pada mesin (Shah et al., 2017).

2.4 Variasi Piston DSCS (*Double Swirl Combution System*)

Modifikasi piston adalah proses mengubah atau menyesuaikan bentuk dan desain piston untuk meningkatkan kinerja mesin, efisiensi bahan bakar. Tujuan dari modifikasi piston ini bisa bervariasi, termasuk meningkatkan aliran udara, menciptakan campuran bahan bakar dan udara yang lebih merata (homogen), atau mengoptimalkan pembakaran di dalam ruang bakar. Modifikasi ini dapat mencakup

perubahan pada bentuk *crown piston*, penambahan lubang atau alur khusus, dan penyesuaian pada ukuran dan bentuk ruang bakar (Indah Kurniasari, 2025).

Modifikasi piston pada *Double Swirl Combustion System* (DSCS) dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran melalui pembentukan pola aliran udara yang lebih optimal di dalam ruang bakar. Upaya ini dicapai dengan mengubah desain piston *crown* sehingga mampu menghasilkan swirl yang lebih efektif dan mendukung terjadinya pembakaran yang lebih sempurna.

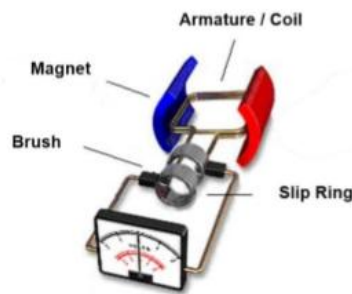


Gambar 2. 4 Piston Modifikasi DSCS
(Sumber : dokumentasi pribadi)

2.5 Generator

Generator merupakan suatu mesin listrik yang berfungsi untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Energi mekanik tersebut umumnya berasal dari penggerak mula seperti turbin air, turbin uap, turbin angin, maupun mesin pembakaran dalam, yang selanjutnya digunakan untuk memutar bagian rotor generator sehingga menghasilkan energi listrik (Supriyatna, 2023).

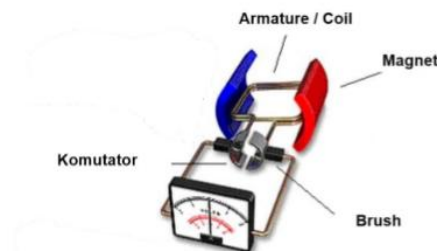
Prinsip kerja generator didasarkan pada Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik terhadap waktu pada suatu penghantar akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL). Dalam generator, medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berinteraksi dengan kumparan stator sehingga terjadi perubahan fluks magnetik secara kontinu. Perubahan fluks inilah yang menyebabkan timbulnya tegangan listrik pada kumparan. Besarnya tegangan induksi yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah lilitan kawat, kuat medan magnet, serta kecepatan putar rotor.



Gambar 2. 5 Rangkaian Generator AC

Sumber : (Supriyatna, 2023)

Berdasarkan jenis arus listrik yang dihasilkan, generator diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu generator arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) dan generator arus searah (*Direct Current/DC*). Generator AC menghasilkan arus listrik bolak-balik dengan frekuensi tertentu, yang pada umumnya digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik karena lebih efisien untuk penyaluran daya jarak jauh. Generator AC menggunakan slip ring sebagai media penyalur arus dari kumparan ke rangkaian luar, sehingga arus listrik dapat mengalir secara kontinu tanpa pembalikan polaritas secara mekanis.



Gambar 2. 6 Rangkaian Generator DC

Sumber : (Supriyatna, 2023)

Sementara itu, generator DC menghasilkan arus listrik searah yang memiliki polaritas tetap. Generator jenis ini menggunakan komutator dan brush sebagai penyearah mekanis untuk mengubah arus bolak-balik hasil induksi menjadi arus searah. Generator DC banyak digunakan pada aplikasi berskala kecil hingga menengah, seperti sistem pengisian baterai dan peralatan elektronik tertentu. Namun, keberadaan brush pada generator DC dapat menyebabkan terjadinya

percikan bunga api yang berpotensi meningkatkan rugi-rugi daya serta mempercepat keausan komponen (Supriyatna, 2023).

2.6 Minyak Solar (HSD)

Berdasarkan informasi yang tercantum pada situs resmi Pertamina, Pertamina Dex merupakan bahan bakar diesel jenis *High Speed Diesel* (HSD) yang diperoleh melalui proses distilasi minyak bumi dan diproduksi sesuai dengan standar industri minyak dan gas. Fraksi minyak solar yang digunakan sebagai HSD memiliki rentang titik didih sekitar 175–370 °C dengan karakteristik warna kuning cerah. Pertamina Dex diformulasikan untuk digunakan pada berbagai mesin diesel berkecepatan tinggi, sehingga mendukung proses pembakaran yang lebih baik, meningkatkan kinerja mesin, serta menghasilkan pengoperasian mesin yang lebih halus.

Pertamina Dex memiliki angka setana (*cetane number*) yang relatif tinggi, sehingga dapat mendukung proses penyalaan bahan bakar yang lebih baik dan mengurangi periode tunda penyalaan (*ignition delay*). Selain angka setana, mutu bahan bakar diesel juga dipengaruhi oleh beberapa karakteristik, seperti volatilitas, viskositas, titik tuang (*pour point*), dan titik kabut (*cloud point*). Pada penelitian ini, Pertamina Dex digunakan sebagai bahan bakar pembanding yang mewakili jenis *High Speed Diesel* (HSD) untuk mengevaluasi perbedaan karakteristik unjuk kerja mesin diesel terhadap penggunaan bahan bakar biodiesel yang diuji. Secara visual, Pertamina Dex memiliki warna kuning cerah, yang dapat dibandingkan dengan karakteristik warna bahan bakar Pertamina lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Produk Pertamina
(sumber :www.solarpertamina.com)

Pada gambar 2.7, jika dibandingkan dengan bahan bakar Pertamina yang lain, Pertamina Dex memiliki warna kuning. Berikut hasil analisa dari Pertamina Dex :

Tabel 2. 2 Karakteristik Bahan Bakar

Parameter	Metode	Satuan	Batas min	Batas max
Indeks Setana	ASTM D4737	-	51	-
Berat jenis @15°C	ASTM D1298	Kg/m ³	820	860
Viskositas @40°C	ASTM D445	mm ² /sec	2,0	4,0
Distilasi : 95% vol Penguapan	ASTM D86	°C	-	360
Distilasi : Titik Didih	ASTM D86	°C	-	370
<i>Flash Point</i>	ASTM D93	°C	55	-

Sumber : www.solarpertamina.com

2.7 Biosolar Komersial

Biosolar komersial (Pertamina) merupakan bahan bakar mesin diesel yang telah dicampur dengan Biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester/FAME). Sesuai kebijakan mandatori biodiesel nasional, biosolar mengandung 40% biodiesel (B40). Biodiesel pada biosolar umumnya berasal dari minyak kelapa sawit (crude palm oil). Adanya campuran Biodiesel pada Biosolar ini meningkatkan sifat pelumasan dan mengurangi emisi gas buang. Namun Biodiesel juga memiliki kekurangan seperti, stabilitas oksidatif yang rendah cenderung menyerap air (bersifat Hygroscopic), dan memiliki titik pengkabutan yang lebih tinggi.

2.8 Biodiesel

Biodiesel adalah salah satu bentuk bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber daya terbarukan, seperti minyak nabati, lemak hewani, maupun minyak

limbah (*waste cooking oil*). Secara umum, biodiesel adalah ester asam lemak (*Fatty Acid Methyl Ester – FAME* atau *Fatty Acid Ethyl Ester – FAEE*) yang dihasilkan melalui reaksi kimia yang dikenal dengan transesterifikasi, yaitu reaksi antara trigliserida dengan alkohol rantai pendek (misalnya metanol) dalam keberadaan katalis. Biodiesel memiliki karakteristik fisik dan kimia yang mendekati bahan bakar diesel konvensional sehingga dapat digunakan pada mesin diesel dengan sedikit atau tanpa modifikasi besar (*A comprehensive review on biodiesel production*). (Silviana et al., 2022)

Minyak bumi merupakan sumber energi fosil yang bersifat tidak terbarukan sehingga ketersediaannya akan terus menurun seiring dengan pemanfaatannya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa cadangan minyak bumi diperkirakan akan semakin berkurang apabila konsumsi terus meningkat. Oleh karena itu, pengembangan biodiesel menjadi salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar berbasis minyak bumi sekaligus sebagai bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel.



Gambar 2. 8 Skema Produksi Biodisel

(sumber:ebtke.esdm.go.id)

Esterifikasi merupakan reaksi kimia antara asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) yang terdapat dalam bahan baku dengan alkohol, umumnya metanol, yang berlangsung dengan bantuan katalis asam untuk menghasilkan *ester*. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dengan mengonversinya menjadi *metil ester*. Dalam reaksi esterifikasi dihasilkan air sebagai produk

samping, yang keberadaannya perlu dikendalikan karena dapat menghambat reaksi. Penggunaan metanol dalam jumlah berlebih dapat meminimalkan pengaruh air yang terbentuk, karena air tersebut akan terlarut dalam fase metanol. Pengendalian kadar air menjadi penting mengingat metanol dalam bentuk ion metoksida berperan dalam reaksi dengan trigliserida untuk membentuk metil ester, sehingga keberadaan air yang berlebihan dapat menurunkan efektivitas proses reaksi (Suleman et al., 2019).

Transesterifikasi merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam produksi biodiesel berbahan baku minyak nabati. Proses ini bertujuan untuk mengonversi senyawa gliserida, yang meliputi trigliserida, digliserida, dan monogliserida sebagai komponen utama penyusun minyak nabati dengan viskositas yang relatif tinggi, menjadi ester asam lemak melalui reaksi dengan alkohol rantai pendek, seperti metanol atau etanol. Hasil dari proses ini adalah biodiesel yang memiliki sifat fisik, khususnya viskositas, yang lebih rendah dan sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel (Suleman et al., 2019).

Spesifikasi biodiesel merujuk pada keputusan direktur jenderal EBTKE No. 148.K/EK.05/DJE/2024 tentang standar dan mutu bahan bakar nabati (*biofuel*), yang mengatur jenis biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar alternative serta diperdagangkan didalam negeri. Untuk pengujian ini digunakan standar uji B40 SNI 7182, sebagaimana tercantum pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Standar SNI 7182

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40 C	kg/m ³	850-890
2	Viskositas Kinematik pada 40 C	mm ² /s (cSt)	2,3-6,0
3	Titik nyala (Mangkok tertutup)	C	Min. 130
4	Titik kabut	C	Maks. 18
5	Air dan sedimen	%-vol	Maks. 0,05
6	Belerang	Mg/kg	Maks. 10
7	Fosfor	Mg/kg	Maks. 4
8	Angka asam	Mg-KOH/g	Maks. 0,4
9	Angka setana		Min 51
10	Gliserol bebas	%-massa	Maks. 0,02
11	Gliserol total	%-massa	Maks. 0,24
12	Kadar ester metil	%-massa	Min 96,5

13	Angka iodium	%-massa(g12/100g)	Maks. 115
14	Residu karbon	% - massa	
	Dalam contoh asli		Maks. 0,05
	Dalam 10% ampas destilasi		Maks. 0,3
15	Abu Tersulfatkan	%-massa	Maks. 0,02
16	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 C)	kg/m ³	850 – 890
17	Temperatur diatas 90%	C	Maks 360
18	Monogliserida	%-massa	Maks 0,525

Sumber : SNI 7182-2015

2.9 Minyak Biji Nyamplung

Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) merupakan salah satu sumber nabati non-pangan yang sangat potensial dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil. Penggunaan minyak nyamplung sebagai energi terbarukan didasarkan pada ketersediaan bahan bakunya yang melimpah dan kontinu, dengan kemampuan produksi biji mencapai 20 ton per hektar setiap tahunnya (Rudi Hartono et al., 2021). Secara umum, biji nyamplung dikenal memiliki rendemen minyak yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 40% hingga 73% (Sudradjat & Setiawan, 2007). Angka ini jauh melampaui rendemen minyak dari tanaman biofuel populer lainnya seperti jarak pagar yang hanya mencapai 40-60% atau kelapa sawit sebesar 46-54%, sehingga menjadikan nyamplung sebagai komoditas yang sangat efisien secara teknis sebagai sumber energi nabati (Sudradjat & Setiawan, 2007).

Sebagai alternatif bahan bakar minyak, nyamplung menawarkan keuntungan strategis karena statusnya sebagai tanaman non-pangan. Berbeda dengan minyak kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan pangan, pemanfaatan nyamplung tidak menimbulkan konflik kepentingan antara pemenuhan energi dan kebutuhan pangan nasional. (Rudi Hartono et al., 2021).



Gambar 2. 9 Minyak Biji Nyamplung

(Sumber : *seruni.id*)

2.10 Titik Nyala (*Flash Point*)

Flash point atau titik nyala merupakan temperatur minimum ketika uap yang terbentuk di atas permukaan bahan bakar dapat mengalami penyalan sesaat apabila terkena sumber api. Parameter ini menunjukkan tingkat kemudahan suatu bahan bakar untuk mengalami penyalan. Semakin tinggi nilai *flash point*, semakin sulit bahan bakar tersebut menyala pada kondisi tertentu, sehingga menunjukkan tingkat keamanan penyimpanan dan penanganan yang lebih baik. Sebaliknya, *flash point* yang lebih rendah menunjukkan bahwa bahan bakar lebih mudah menghasilkan uap yang dapat menyala (Farisi, 2025).

2.11 Viskositas

Viskositas (μ), merupakan karakteristik fluida yang menunjukkan besarnya hambatan terhadap aliran. Semakin tinggi viskositas bahan bakar, semakin besar hambatan yang terjadi sehingga bahan bakar lebih sulit mengalir. Sebaliknya, bahan bakar dengan viskositas rendah memiliki kemampuan mengalir yang lebih baik. Pada mesin diesel, viskositas menjadi salah satu sifat penting karena berpengaruh terhadap kinerja sistem injeksi, terutama dalam proses atomisasi bahan bakar. Kualitas atomisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain viskositas bahan bakar, tekanan injeksi, dan diameter lubang nosel injektor. Bahan bakar dengan viskositas yang tinggi cenderung menghasilkan ukuran *droplet* yang lebih besar serta memiliki momentum penetrasi yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan potensi terjadinya tumbukan bahan bakar dengan dinding silinder yang memiliki temperatur lebih rendah.

2.12 Densitas

Densitas (ρ) adalah besaran yang menggambarkan banyaknya massa yang terkandung dalam setiap satuan volume suatu material. Pada bahan bakar, parameter ini memiliki peranan dalam menentukan karakteristik kerja mesin, terutama karena berkaitan dengan jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar dan proses pembakarannya. Peningkatan densitas dapat menyebabkan massa bahan

bakar yang terinjeksi pada volume tertentu menjadi lebih besar, sehingga dapat memengaruhi karakteristik pembakaran dan konsumsi bahan bakar. Akan tetapi, densitas yang terlalu tinggi juga dapat mengganggu kinerja sistem injeksi karena memengaruhi kemampuan bahan bakar untuk disemprotkan dan dipecah menjadi butiran-butiran kecil selama proses atomisasi (Wahyudi et al., 2023).

Densitas umumnya digunakan untuk menyatakan jumlah massa yang terdapat dalam suatu volume tertentu, dengan satuan yang lazim digunakan berupa gram per liter (g/L) dan kilogram per meter kubik (kg/m^3). Pada pengujian bahan bakar, salah satu alat yang dapat digunakan untuk menentukan densitas adalah piknometer. Alat ini berbentuk wadah kaca tertutup yang memiliki saluran kapiler untuk membantu mengeluarkan udara yang terperangkap selama pengukuran. Massa bahan bakar yang diuji ditentukan berdasarkan perbedaan antara massa piknometer setelah diisi sampel dan massa piknometer dalam keadaan kosong. Sementara itu, volume sampel ditetapkan berdasarkan kapasitas nominal piknometer yang digunakan (Farisi, 2025)

2.13 Angka Setana

Angka setana (cetane number) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menilai karakteristik penyalaan bahan bakar pada mesin diesel. Parameter ini menunjukkan seberapa cepat bahan bakar dapat mengalami penyalaan setelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Nilai angka setana yang tinggi umumnya berkaitan dengan periode ignition delay yang lebih pendek, sehingga akumulasi bahan bakar sebelum penyalaan dapat dikurangi dan proses pembakaran berlangsung lebih terkendali. Kondisi tersebut dapat mendukung efisiensi pembakaran, mengurangi kecenderungan terjadinya diesel knock, serta menghasilkan kerja mesin yang lebih halus.

Pada mesin diesel, angka setana memiliki fungsi yang serupa dengan angka oktan pada mesin bensin dalam hal menunjukkan karakteristik penyalaan bahan bakar, meskipun keduanya memiliki prinsip yang berbeda. Bahan bakar dengan angka setana rendah cenderung memiliki waktu tunda penyalaan yang lebih panjang. Akibatnya, lebih banyak bahan bakar dapat terakumulasi sebelum terjadi pembakaran, sehingga pelepasan energi berlangsung lebih cepat dan dapat

menimbulkan peningkatan tekanan yang tajam di dalam silinder. Sebaliknya, angka setana yang lebih tinggi membantu mempercepat terjadinya penyalaan dan membuat proses pembakaran menjadi lebih teratur. Karakteristik tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap performa mesin, konsumsi bahan bakar, tingkat kebisingan pembakaran, serta kemudahan penyalaan mesin. Secara umum, bahan bakar diesel memiliki karakteristik operasi yang baik pada angka setana sekitar 40–55, sedangkan nilai yang dipersyaratkan dapat berbeda berdasarkan standar dan jenis bahan bakar yang digunakan.

2.14 Nilai Kalor

Nilai kalor (*heating value*) merupakan besarnya energi panas yang dapat dilepaskan dari pembakaran sempurna sejumlah bahan bakar dan menjadi salah satu parameter yang menunjukkan kandungan energi dalam bahan bakar. Pada mesin diesel, energi panas hasil pembakaran di dalam ruang bakar menghasilkan tekanan gas yang mendorong piston sehingga dapat diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan mesin. Berdasarkan kondisi pengukurannya, nilai kalor dibedakan menjadi Nilai Kalor Tinggi (*Gross Heating Value/GHV*) dan Nilai Kalor Rendah (*Lower Heating Value/LHV*). GHV memperhitungkan panas yang dilepaskan ketika uap air hasil pembakaran mengalami kondensasi, sedangkan LHV tidak memperhitungkan panas tersebut karena uap air dianggap tetap dalam bentuk gas dan keluar bersama gas buang. Dalam analisis kinerja mesin, LHV dapat digunakan untuk menggambarkan energi yang secara efektif tersedia selama proses pembakaran. Semakin besar nilai kalor suatu bahan bakar, semakin besar pula potensi energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran sejumlah bahan bakar yang sama, sehingga dapat memengaruhi tenaga dan konsumsi bahan bakar mesin.

2.15 Pertimbangan Pemilihan rpm

Penentuan variasi kecepatan putaran mesin (rpm) dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik dan spesifikasi mesin diesel yang digunakan selama pengujian. Dalam penelitian ini, mesin yang digunakan sebagai objek pengujian adalah mesin diesel Jiangdong tipe ZH1115N.

2.16 Parameter Perhitungan Mesin Diesel

Parameter yang dihasilkan dari pelaksanaan pengujian meliputi beberapa variabel utama yaitu :

2.16.1 Daya Mesin

Daya yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam silinder disebut daya indikator, yaitu daya yang terbentuk akibat tekanan gas hasil pembakaran yang mendorong torak (piston) secara bolak balik. Dalam proses ini, energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi mekanik pada torak. Untuk menghitung besarnya daya pada mesin empat langkah (Attallasyah et al., 2024).

$$p = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi}{\eta_{gen} \times \eta_{trans}} \quad 2.1$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

$\cos \varphi$ =Faktor daya Listrik = 0,8

η_{gen} = Efisiensi mekanisme generator = 0,9 (katalog)

η_{trans} = Efisiensi transmisi = 0,95 (katalog)

Jika beban pada tiap fasa tidak sama atau tidak merata, maka persamaan di atas tidak dapat digunakan, maka persamaan daya total menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P1 = V1 \times I1 \quad (2.2)$$

$$P2 = V2 \times I2$$

$$P3 = V3 \times I3$$

$$P = \frac{P1+P2+P3}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}}$$

2.16.2 Torsi

Torsi menggambarkan kemampuan mesin dalam menghasilkan momen gaya pada poros engkol yang timbul akibat tekanan hasil pembakaran di dalam silinder. Parameter ini menjadi salah satu indikator utama dalam evaluasi performa

mesin, khususnya dalam menilai kemampuan akselerasi serta kapasitas mesin dalam menghadapi beban kerja.

Pengukuran torsi mesin umumnya dilakukan menggunakan dynamometer, yaitu perangkat yang bekerja dengan memberikan beban pengereman berlawanan arah terhadap putaran poros mesin hingga kecepatan putarannya menurun atau mendekati kondisi nol. Nilai torsi dapat ditentukan apabila daya keluaran mesin dan kecepatan putaran mesin telah diketahui, sehingga perhitungannya dapat dilakukan berdasarkan hubungan matematis antara parameter-parameter tersebut (Semin et al., 2017) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan berikut :

$$T = \frac{P \times 60 \times 1000}{2\pi \times rpm} \quad 2.3$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

P = Daya Generator (Watt)

rpm = Kecepatan putaran mesin (rpm)

Dengan 60 didapat melalui konversi 1 menit = 60 detik, dan 1000 didapat melalui konversi 1 kw = 1000 watt

2.16.3 Konsumsi Bahan Bakar

Menurut (Semin et al., 2017) persamaan untuk mencari konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t} \quad 2.4$$

Dimana :

FCR = Laju bahan bakar (gr/h)

V = Volume bahan bakar (m³)

ρ = Massa jenis bahan bakar (gr/m³)

t = Waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar (detik)

2.16.4 Brake Spesific Fuel Consumption (BSFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) merupakan parameter yang digunakan dalam mengevaluasi unjuk kerja mesin atau generator, khususnya untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan

bahan bakar. Besaran ini menyatakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan mesin untuk menghasilkan daya keluaran tertentu selama selang waktu tertentu. Nilai BSFC yang semakin rendah menunjukkan bahwa mesin mampu menghasilkan daya dengan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit, sehingga efisiensi pemanfaatan bahan bakarnya semakin baik. Perhitungan BSFC dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut menurut (Semin et al., 2017) yaitu:

$$Bsfc = \frac{FCR}{P} \quad 2.5$$

Dimana:

Bsfc = Konsumsi spesifik bahan bakar (g/Kwh)

FCR = Laju bahan bakar (gr/h)

P = Daya generator (kW)

2.16.5 *Brake Mean Effective Pressure (BMEP)*

Brake Mean Effective Pressure (BMEP) menggambarkan tekanan rata-rata yang bekerja pada silinder mesin selama siklus pembakaran. Dengan kata lain yaitu Besarnya tekanan yang bekerja pada piston tidak bersifat tetap, melainkan berubah-ubah selama piston melakukan satu langkah. Apabila tekanan yang bervariasi tersebut dinyatakan sebagai suatu tekanan konstan yang mampu menghasilkan kerja yang sama selama satu siklus terhadap volume langkah piston, maka tekanan tersebut disebut sebagai tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*), yaitu besarnya kerja yang dihasilkan per siklus untuk setiap satuan volume langkah piston. Bmep juga sering digunakan untuk membandingkan performa mesin yang berbeda, terlepas dari kapasitas atau jumlah silinder (Farisi, 2025). Nilai Bmep didapat menggunakan rumus berikut:

$$BMEP = \frac{P \times z \times 60}{A \times l \times n \times i} \quad 2.6$$

Dimana :

Z = Indeks siklus (1 untuk motor 2 langkah dan 2 untuk motor 4 langkah)

P = Daya poros mesin (Watt)

A = Luas penampang piston (m²)

= $\pi \cdot r^2$ (r = jari jari piston)

- l = Panjang langkah piston (m)
 n = Kecepatan putaran mesin (rpm)
 i = Jumlah silinder

2.16.6 Mean Piston Speed

Mean piston speed ialah paramter penting dalam melihat performa mesin dalam karena mencerminkan tingkat beban mekanik yang dialami komponen torak. Berikut rumus untuk menghitung *mean piston speed* ialah :

$$C = \frac{2 \times L \times n}{60} \quad 2.7$$

Dimana:

- C = Mean Speed Piston (m/s)
 L = Panjang Langkah Piston (m)
 n = Kecepatan Engine (rpm)

Faktor 2 karena piston bergerak dua kali langkah dalam satu putaran poros engkol, dan nilai 60 digunakan sebagai faktor konversi satuan dari putaran per menit (rpm) menjadi putaran per detik.

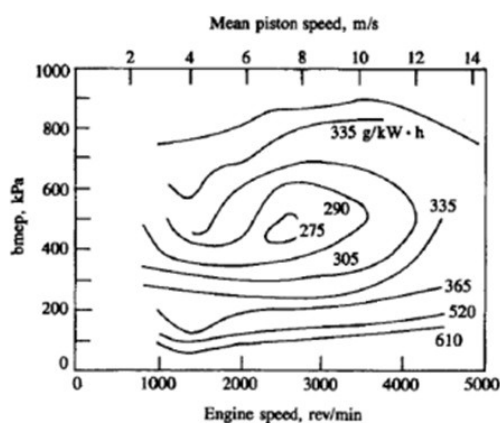
2.17 Diesel Engine Fuel Map

Diesel Engine Fuel Map merupakan diagram yang menunjukkan keterkaitan antara beberapa parameter kerja mesin, termasuk putaran mesin (rpm), tekanan efektif rata-rata (BMEP), serta konsumsi bahan bakar spesifik. Peta ini digunakan untuk mengidentifikasi kondisi operasi mesin yang paling efisien dan menjadi dasar dalam perancangan sistem pengaturan bahan bakar maupun kontrol mesin agar performa yang dicapai lebih optimal.

Diesel engine fuel map menunjukkan bahwa efisiensi mesin diesel sangat dipengaruhi oleh kombinasi putaran mesin (rpm) dan beban mesin (BMEP). Mesin memiliki zona operasi paling efisien pada putaran menengah dan beban menengah hingga tinggi, yang ditandai dengan nilai BSFC paling rendah.

Pada beban rendah, mesin bekerja kurang efisien karena tekanan pembakaran yang kecil dan dominasi rugi panas, sehingga nilai BSFC menjadi tinggi. Sementara itu, pada putaran mesin yang terlalu tinggi, efisiensi kembali menurun akibat meningkatnya rugi mekanis dan gesekan, yang berkaitan dengan tingginya mean piston speed.

Dengan demikian, pengoperasian mesin diesel pada daerah efisiensi optimal sangat penting untuk memperoleh konsumsi bahan bakar yang lebih hemat dan unjuk kerja yang optimal. Fuel map menjadi alat penting dalam menentukan strategi pengoperasian mesin, analisis performa, serta evaluasi penggunaan bahan bakar alternatif, termasuk biodiesel



Gambar 2. 10 *Engine Performance Fuel Map*

Sumber : (Steckelberg, 2017)

Dengan menggunakan fuel map, dapat diidentifikasi daerah operasi mesin yang paling efisien serta daerah yang kurang menguntungkan dari sisi konsumsi bahan bakar. Pada grafik engine fuel map yang dianalisis, sumbu horizontal menunjukkan putaran mesin dalam satuan revolutions per minute (rpm), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan BMEP dalam satuan kilopascal (kPa). Nilai BSFC ditampilkan dalam bentuk garis kontur yang menunjukkan konsumsi bahan bakar spesifik konstan pada kombinasi rpm dan BMEP tertentu. Semakin kecil nilai BSFC, maka semakin efisien mesin dalam mengonversi energi bahan bakar menjadi daya poros.

2.18 Alat Ukur

Adapun alat ukur yang digunakan dalam proses pengambilan data pada penelitian ini terdiri atas beberapa instrumen yang berfungsi untuk mengukur dan memantau parameter penelitian secara langsung. Penggunaan alat ukur tersebut bertujuan untuk memperoleh data yang akurat, sehingga hasil pengukuran yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi pengujian secara nyata serta mendukung analisis yang dilakukan dalam penelitian ini.

2.18.1 *Stopwatch Digital*

Stopwatch merupakan alat ukur waktu yang berfungsi untuk mengukur interval waktu, banyak digunakan untuk menghitung mundur waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Stopwatch digunakan dalam kegiatan eksperimen, pengujian performa, dan pengukuran aktivitas lainnya (Sutanto et al., 2024).



Gambar 2. 11 *Stopwatch digital*
(Sumber:Dokumen Pribadi)

2.18.2 *Avometer*

Avometer merupakan instrumen Listrik yang digunakan untuk mengukur besar arus Listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat, alat ini dipasang secara seri sehingga seluruh arus rangkaian melewati amperemeter. Dalam sistem kelistrikan, khususnya pada alternator, amperemeter berperan dalam memantau arus Listrik yang dihasilkan. Pemantauan tersebut bertujuan memastikan arus keluaran tetap berada dalam batas kapasitas yang telah dirancang, sehingga dapat mencegah terjadinya kelebihan arus yang berpotensi merusak peralatan maupun sistem kelistrikann (Farisi, 2025).



Gambar 2. 12 *Avometer*
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

2.18.3 *Tachometer*

Tachometer merupakan alat ukur yang dirancang untuk menentukan kecepatan rotasi suatu objek. Cara kerjanya didasarkan pada pemancaran sinar inframerah menuju permukaan, kemudian pantulan sinar tersebut diterima *detector* sebagai dasar pengukuran. Sejumlah penelitian telah dilakukan oleh para peneliti untuk mengkaji metode dan akurasi pengukuran kecepatan putaran motor (Tunggal et al., 2020).



Gambar 2. 13 *Tachometer*
(Sumber:Dokumentasi Pribadi)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data dalam penelitian ini bersumber dari pengujian eksperimental menggunakan mesin diesel empat langkah (*four-stroke*) Jiangdong tipe ZH1115N, serta data hasil pengujian karakteristik bahan bakar di laboratorium. Seluruh data yang telah diperoleh kemudian diproses dan diolah sebagai bahan dasar untuk melakukan perhitungan serta analisis terhadap hasil penelitian. Adapun mesin diesel yang digunakan sebagai objek pengujian dalam penelitian ini ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 1 Jiangdong Four Stroke Diesel Engine ZH1115N
(sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Diesel 2 Langkah

Model	JD ZH1115N
Jenis	<i>single-cylinder, horizontal, 2-cycle</i>
Sistem pembakaran	<i>double injection</i>
Diameter x panjang langkah (mm)	115 x 115
Volume langkah (L)	1.195
Tenaga <i>continue</i> (HP/rpm)	24/2200
<i>Fuel Consumption Ratio</i>	≤ 238 g/KWh
<i>Average Effective Pressure</i>	739,75 Kpa
Sistem pendingin	<i>hopper</i>
Sistem pelumasan	kombinasi tekanan & penyebaran
Sistem start	tangan/engkol & starter
Berat bersih (kg)	180

Sumber: Data Spesifikasi mesin uji lab motor bakar PPNS

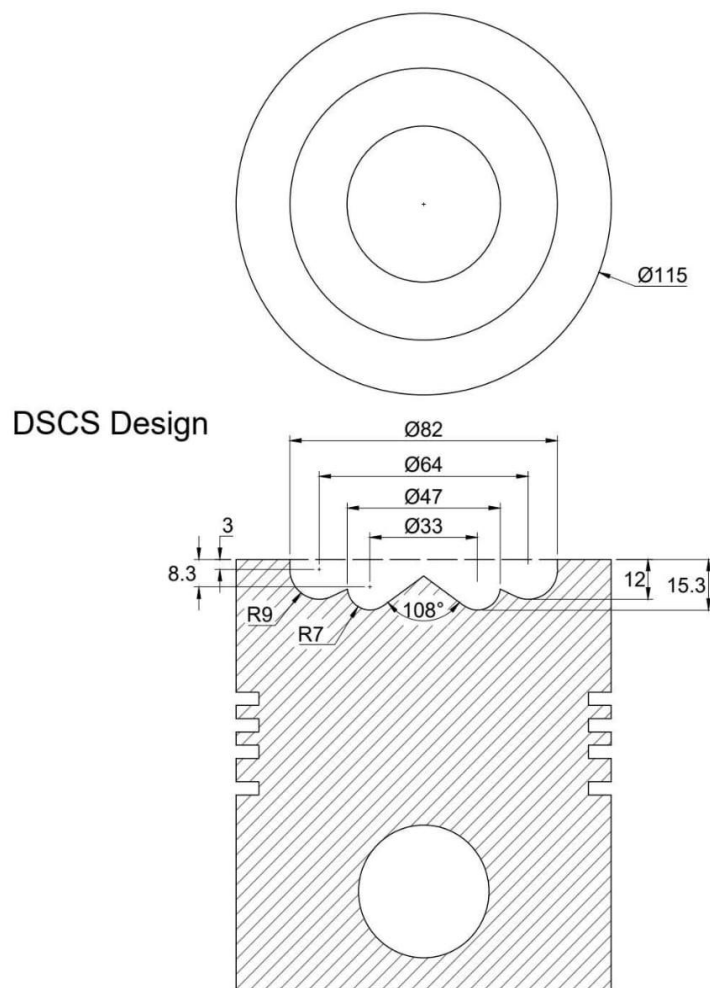


Gambar 3. 2 Jiangdong *Diesel Engine* Dikopel dengan Generator
(sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3. 2 Spesifikasi Generator

Model	A.C.SYNCHRONOUS
Jenis	GENERATOR STC-5
<i>Power</i>	5Kw / 6.3 KVa
<i>Voltage</i>	380/660V
Arus Listrik	5,5 A
Cos φ	0,8
<i>Number of Phase</i>	3
<i>Frequence</i>	50 Hz
<i>Speed</i>	1500 rpm
<i>Excit Volt.</i>	82 V
<i>Excit Current</i>	3,6 A

Sumber : Data Spesifikasi Generator di lab motor bakar PPNS



Gambar 3. 3 Ukuran Piston Modifikasi DSCS
(sumber: Indah Kurniasari, 2025)

Pada gambar 3.3 ukuran piston modifikasi DSCS, menjelaskan bahwa piston yang akan dimodifikasi dengan model DSCS memiliki ukuran seperti yang sudah diterangkan pada gambar. Nantinya piston dari flat chamber akan dimodifikasi sedemikian rupa guna penelitian tugas akhir ini.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

3.2.1 Tempat Pelaksanaan

Tempat dilaksanakannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian densitas, viskositas, dan titik nyala bahan bakar dilaksanakan di Laboratorium Kimia Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Pengujian nilai kalor bahan bakar dan angka setana dilaksanakan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

3. Pengujian unjuk kerja mesin dilaksanakan di Bengkel Reparasi Mesin Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

3.2.2 Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini dimulai pada bulan Januari 2026 dan berlangsung selama enam bulan setelah proposal penelitian disetujui. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis. Tahap awal diawali dengan konsultasi bersama dosen pembimbing untuk menentukan topik penelitian, menyusun ruang lingkup, serta memperoleh arahan mengenai pelaksanaan Tugas Akhir.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan faktor yang mempengaruhi hasil dan analisis dalam pengujian yang dilakukan. Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu :

3.3.1 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini sebagai berikut:

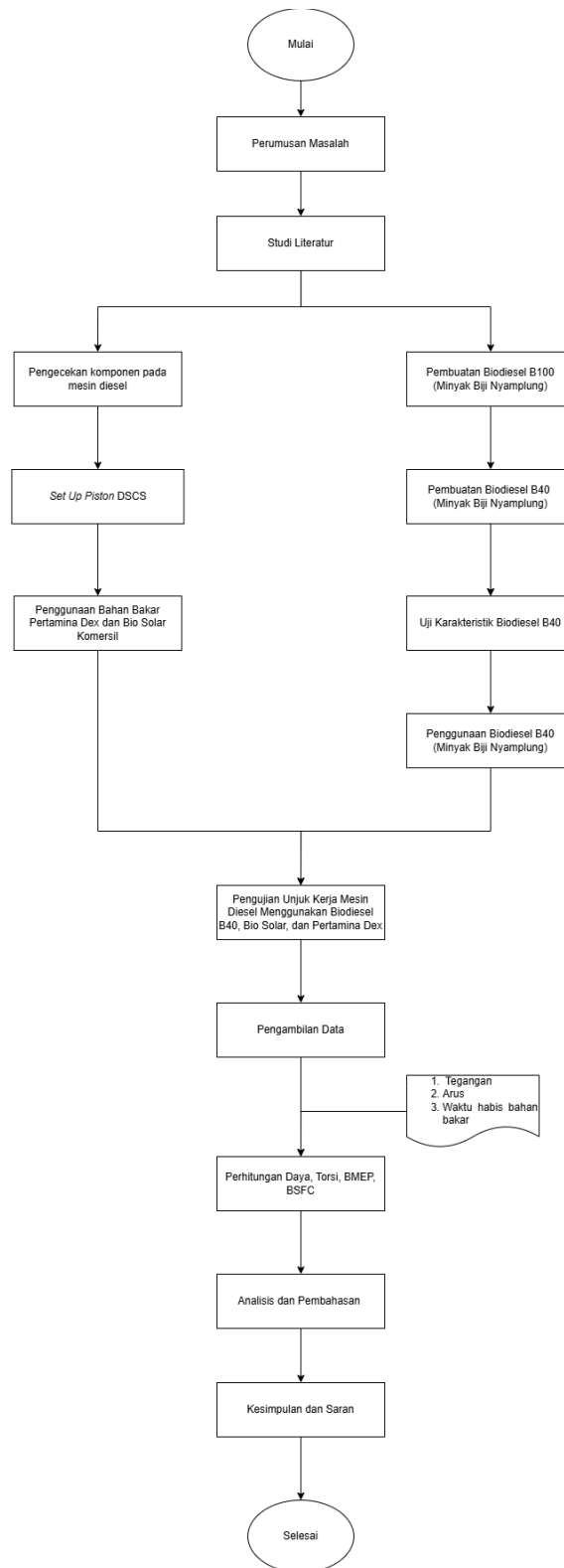
1. P : Daya yang dihasilkan *four stroke marine diesel engine* (watt).
2. T : Torsi yang dihasilkan *four stroke marine diesel engine* (Nm).
3. *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) yang dibutuhkan pada unjuk kerja *four stroke marine diesel engine* (g/Kwh).
4. Presentase Biodiesel (40%) terhadap Pertamina Dex (60%)
5. Karakteristik Bahan Bakar B40 Minyak Nyamplung dan Pertamina Dex

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Beban lampu (2000 Watt, 3000 Watt, 4000 Watt)
2. Frekuensi putaran mesin (1000 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, dan 1400 rpm)
3. Variasi piston menggunakan piston tipe DSCS

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Mulai

Penyusunan proposal Tugas Akhir merupakan tahapan awal yang dilakukan sebagai bentuk persiapan sebelum penelitian dilaksanakan. Secara keseluruhan, kegiatan Tugas Akhir dimulai pada November 2025 dan meliputi beberapa tahapan, yaitu penyusunan proposal, pelaksanaan pengujian dan penelitian, pengolahan serta analisis data, hingga penyelesaian laporan akhir.

3.5.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini meliputi pengaruh modifikasi piston *Double Swirl Combustion System (DSCS)* serta variasi bahan bakar B40 (Minyak Nyamplung), Biosolar komersial, dan Pertamina Dex, terhadap performa mesin diesel empat langkah (*four-stroke*).

3.5.3 Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan dengan menelaah berbagai referensi yang memiliki keterkaitan dengan permasalahan dan tujuan penelitian. Referensi yang digunakan berasal dari berbagai sumber, seperti tugas akhir terdahulu, jurnal ilmiah, informasi dari laman resmi dan sumber daring yang terpercaya, publikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), serta hasil diskusi berupa arahan dan masukan dari dosen pembimbing selama proses pengerjaan Tugas Akhir.

3.5.4 Pengecekan Komponen Pada Mesin Diesel

Tahap ini merupakan proses pengecekan komponen pada mesin diesel untuk memastikan tidak adanya kerusakan atau kecacatan yang dapat mengganggu jalannya pengujian.

3.5.5 Piston DSCS Set Up

Setelah dilakukan pengecekan komponen pada mesin diesel di tahap sebelumnya, selanjutnya ialah pemasangan piston modifikasi yaitu piston *Double Swirl Combustion Engine (DSCS)* yang akan diuji menggunakan tiga bahan bakar.

3.5.6 Penggunaan Bahan Bakar Pertamina Dex dan Bio Solar Komersial

Tahap untuk persiapan dengan bahan bakar Pertamina Dex dan Bio Solar. Nantinya data yang dihasilkan dari bahan bakar tersebut akan digunakan sebagai data awal sekaligus sebagai pembanding terhadap hasil pengujian menggunakan bahan bakar B40.

3.5.7 Pembuatan Biodiesel B100 Minyak Nyamplung

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan biodiesel yang berasal dari minyak nyamplung. Proses produksi biodiesel diawali dengan tahap degumming, esterifikasi, kemudian dilanjutkan dengan proses transesterifikasi, serta di akhiri dengan proses pencucian dan pemurnian. Biodiesel yang telah dimurnikan selanjutnya digunakan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan B40.

3.5.8 Pembuatan Biodiesel B40

Untuk pembuatan bahan bakar B40 adalah pencampuran bahan bakar dengan presentase Biodiesel Minyak Nyamplung sebesar 40% dan Pertamina Dex sebesar 60%.

3.5.9 Uji Karakteristik Biodiesel B40

Setelah proses pembuatan bahan bakar campuran B40 selesai dilakukan, tahapan selanjutnya yaitu menguji karakteristik bahan bakar melalui pengujian laboratorium. Pengujian tersebut dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai sifat fisik dan kimia B40 yang mencakup titik nyala, viskositas, densitas, nilai kalor, dan angka setana. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menilai kesesuaian karakteristik bahan bakar terhadap standar yang ditetapkan serta sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh penggunaannya terhadap unjuk kerja mesin diesel.

3.5.10 Pengujian dan Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengujian dan pengambilan data pada mesin diesel empat langkah. Data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dicatat dan digunakan sebagai dasar untuk menganalisis serta menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan dalam penelitian. Format pencatatan hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5.

Tabel 3. 3 Format Hasil Pengujian

Piston DSCS											
Beban Lampu 2000 Watt											
Jenis Bahan Bakar Pertamina Dex	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								
Beban Lampu 3000 Watt											
Jenis Bahan Bakar Pertamina Dex	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								
Beban Lampu 4000 Watt											
Jenis Bahan Bakar Pertamina Dex	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								

Sumber : dokumentasi pribadi

Tabel 3. 4 Format Hasil Pengujian

Piston DSCS											
Beban Lampu 2000 Watt											
Jenis Bahan Bakar B40	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								

Beban Lampu 3000 Watt											
Jenis Bahan Bakar B40	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								
Beban Lampu 4000 Watt											
Jenis Bahan Bakar B40	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								

Sumber : dokumentasi pribadi

Tabel 3.5 Format Hasil Pengujian

Piston DSCS											
Beban Lampu 2000 Watt											
Jenis Bahan Bakar Biosolar	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								
Beban Lampu 3000 Watt											
Jenis Bahan Bakar Biosolar	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								
Beban Lampu 4000 Watt											

	No	rpm	Volume Bahan Bakar (ml)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Kw)	Torsi (Nm)	t(s)	FCR (gr/h)	Bsfc (gr/kWh)	Bmep (Bar)
Jenis Bahan Bakar Biosolar	1	1000	25								
	2	1100	25								
	3	1200	25								
	4	1300	25								
	5	1400	25								

Sumber : dokumentasi pribadi

3.5.11 Perhitungan Daya, torsi, BMEP, dan BSFC

Perhitungan parameter unjuk kerja yang meliputi daya, torsi, BMEP, dan BSFC dilakukan dengan mengacu pada data hasil pengujian mesin diesel yang menggunakan piston DSCS dengan tiga jenis bahan bakar, yaitu Pertamina Dex, Biosolar Komersial, dan biodiesel B40.

3.5.12 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dari hasil seluruh perhitungan meliputi daya, torsi, BMEP, BSFC, dan *Mean piston speed* disajikan dalam grafik serta Diesel Fuel Maps untuk mengetahui terkait Optimalisasi.

3.5.13 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian meliputi penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis untuk menjawab rumusan masalah serta penyampaian saran sebagai masukan bagi penelitian selanjutnya dan referensi mengenai variasi piston serta penggunaan biodiesel pada mesin diesel.

3.5.14 Selesai

Merupakan tahap akhir penyusunan tugas akhir.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Biodiesel Minyak Nyamplung

Dalam tahap pembuatan biodiesel minyak nyamplung memerlukan beberapa jenis bahan baku yaitu Minyak Nyamplung, KOH, Methanol (CH_3OH), Aquades (H_2O), Asam Fosfat (H_3PO_4), Asam Sulfat (H_2SO_4). Bahan baku ini diolah melalui beberapa tahapan yaitu:

4.1.1 *Degumming*

Pada tahap *degumming* ini berfungsi untuk menghilangkan kandungan getahnya dengan cara minyak nyamplung dipanaskan hingga suhu 80°C kemudian masukan asam fosfat sebanyak 2% (5ml) dari volume minyak dan diaduk selama 15 menit. Panaskan aquades sebanyak 5% dari volume minyak (25ml) sampai suhu 80°C . Setelah semua proses selesai endapkan selama 24 jam lalu pisahkan minyak dari residu. Seperti ditunjukan pada gambar 4.1 dari kiri ke kanan.



Gambar 4. 1 Proses *Degumming*
(Sumber dokumentasi pribadi)

4.1.2 Esterifikasi

Pada tahap esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas yang secara alami sangat tinggi pada minyak

nyamplung. Proses ini dilakukan dengan cara campurkan methanol dengan rasio molar terhadap minyak 8:1 dan asam sulfat 2% dari volume minyak panaskan suhu 60°C dan diaduk selama 1 jam setelah itu endapkan selama 24 jam dan pisahkan dari residu, Dikarenakan minyak nyamplung memiliki karakteristik FFA yang tinggi diperlukan tahap esterifikasi kedua perlu dilakukan agar kadar asam turun. Pada tahap esterifikasi kedua ini siapkan methanol 4:1 dan asam sulfat 2% dari volume minyak, minyak dipanaskan dahulu sampai suhu 60°C dahulu baru masukan campuranya setelah selesai di endapkan selama 24 jam. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 dari kiri ke kanan.



Gambar 4. 2 Proses Esterifikasi
(Sumber dokumentasi pribadi)

4.1.3 Pencucian

Setelah selesai melakukan proses esterifikasi kedua lakukan tahap pencucian untuk mengendapkan sisa reaktan. Tahap pencucian dilakukan dengan cara panaskan aquades sebesar 30% dari minyak dengan suhu 50°C lalu aquades dicampurkan secara perlahan dengan cara disemprotkan ke minyak agar tercampur merata.



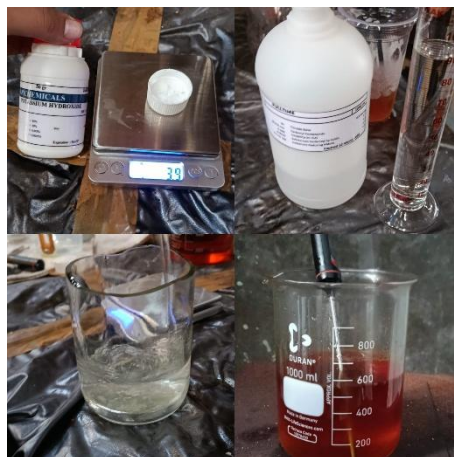
Gambar 4. 3 Proses Pencucian
(Sumber dokumentasi pribadi)

4.1.4 Pengeringan

Setelah proses pencucian selesai dilanjutkan proses pengeringan untuk menurunkan kadar air sebelum masuk tahap transertifikasi dengan cara memanaskan minyak dengan suhu 100°C agar kandungan air menguap sampai tidak terlihat gelembung.

4.1.5 Transertifikasi

Pada Tahap Transertifikasi ini bertujuan untuk mengubah trigliserida menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau Biodiesel dengan cara siapkan KOH 2% dari berat minyak dan methanol dengan rasio molar teradap minyak 8:1 setelah itu campurkan KOH dan Methanol dan diaduk sampai larut, Kemudian campurkan ke minyak dan panaskan hingga suhu 60°C dan diaduk selama 60 menit setelah semua proses selesai endapkan selama 24 jam.



Gambar 4. 4 Proses Transertifikasi
(Sumber dokumentasi pribadi)

4.1.6 Pencucian

Lalu lakukan tahap pencucian lagi dengan cara panaskan aquades sebesar 30% dari minyak dengan suhu 50°C lalu semprotkan aquades ke minyak agar tercampur merata, lakukan proses ini secara berulang sampai air pencucian netral.

4.1.7 Pengeringan

Setelah proses pencucian selesai dilanjutkan proses pengeringan dengan cara memanaskan minyak dengan suhu 100°C agar kandungan air menguap sampai tidak terlihat gelembung.



Gambar 4. 5 Proses Pengeringan
(sumber dokumentasi pribadi)

4.1.8 Proses Pembuatan B40

Setelah selesai melakukan proses pembuatan biodiesel, maka langkah selanjutnya adalah proses pencampuran antara biodiesel minyak nyamplung murni (B100) dan Pertamina Dex dengan rasio minyak nyamplung murni sebesar 40% dan Pertamina Dex sebesar 60% dari total volume. dilanjutkan dengan proses pengadukan sampai tercampur secara merata.



Gambar 4. 6 Hasil B40 dan B100
(Sumber dokumentasi pribadi)

4.1.9 Hasil Uji Karakteristik Biodiesel Minyak Nyamplung

Hasil uji karakteristik Biodiesel B40 minyak nyamplung pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik biodiesel dengan standar bahan bakar yang berlaku. Parameter yang diuji mencakup densitas, viskositas, titik nyala, angka setana, dan nilai kalor. Data pengujian diperoleh dari hasil uji laboratorium yang disajikan dalam bentuk tabel 4.1 sebagai berikut.

Table 4. 1 Hasil uji karakteristik biodiesel minyak nyamplung

Bahan Bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas at 40°C (cSt)	Angka Setana	Nilai Kalor (Kj/Kg)
B40	93	850-851	3,38-3,46	42,4	49.071

Dalam standar dan mutu bahan bakar merujuk pada SK Dirjen EBTKE No. 148.K/EK.05/DJE/2024. Tentang bahan bakar nabati jenis biodiesel untuk campuran 40%

Table 4. 2 Standar bahan bakar SNI 7182

Standart SNI 7182	Titik Nyala	Densitas	Viskositas	Angka Setana	Nilai Kalor
Nilai	Min 130	850-890	2,3-6,0	Min 51	—

Pengujian titik nyala dilakukan untuk mengetahui tingkat keamanan bahan bakar selama penyimpanan, pengiriman dan penanganan berdasarkan temperatur minimum bahan bakar menghasilkan uap yang menyala. Berdasarkan table 4.1 Biodiesel B40 memiliki titik nyala sebesar 93°C, lebih rendah dari persyaratan minimum 130°C menurut SK Dirjen EBTKE No. 148.K/EK.05/DJE/2024, sehingga belum memenuhi standar mutu.

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis bahan bakar yang memengaruhi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dan kualitas proses pembakaran. Hasil pengujian menunjukkan densitas biodiesel B40 sebesar 850–851 kg/m³, yang masih berada dalam rentang standar 850–890 kg/m³, sehingga telah memenuhi persyaratan. Densitas yang sesuai mendukung proses injeksi dan atomisasi bahan bakar yang lebih baik.

Pengujian viskositas bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan bahan bakar yang memengaruhi aliran bahan bakar pada sistem injeksi dan proses atomisasi. Biodiesel B40 memiliki viskositas sebesar 3,38–3,46 cSt, masih berada dalam rentang standar 2,3–6,0 cSt, sehingga memenuhi persyaratan mutu. Nilai tersebut menunjukkan bahwa biodiesel memiliki karakteristik aliran yang baik

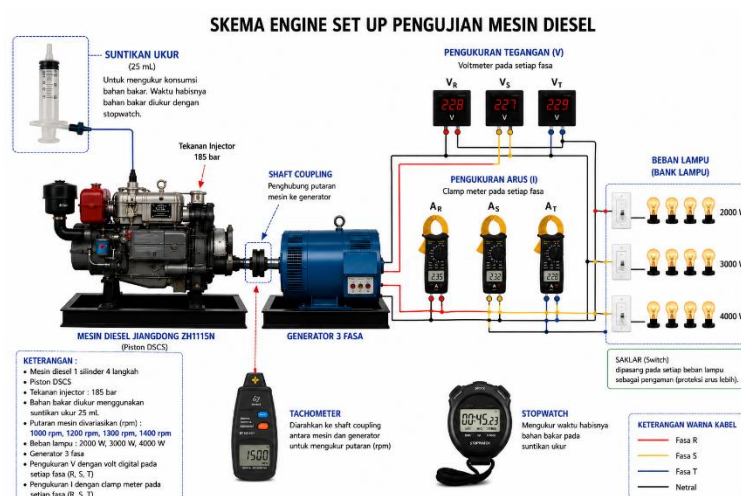
untuk mendukung proses pembakaran.

Pengujian angka setana dilakukan untuk mengetahui kemampuan bahan bakar menyala secara spontan di dalam ruang bakar. Hasil pengujian menunjukkan angka setana biodiesel B40 sebesar 42,4, lebih rendah dari persyaratan minimum 51, sehingga belum memenuhi standar mutu.

Pengujian nilai kalor dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang dihasilkan bahan bakar selama proses pembakaran. Biodiesel B40 memiliki nilai kalor sebesar 49.071 kJ/kg. Parameter ini tidak dipersyaratkan dalam SK Dirjen EBTKE No. 148.K/EK.05/DJE/2024, namun tetap penting karena berpengaruh terhadap kemampuan bahan bakar menghasilkan daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) pada mesin diesel.

4.2 *Engine Set Up* Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel

Engine set up merupakan konfigurasi sistem pengujian yang digunakan untuk memperoleh data unjuk kerja mesin diesel pada penelitian ini. Sistem pengujian menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah tipe Jiangdong ZH1115N menggunakan piston Double Swirl Combustion System (DSCS). Mesin dihubungkan secara langsung dengan generator tiga fasa melalui shaft coupling sehingga putaran mesin dapat diteruskan ke generator untuk menghasilkan daya listrik. Diagram skematik *engine set up* yang digunakan selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Diagram *Engine Set Up*

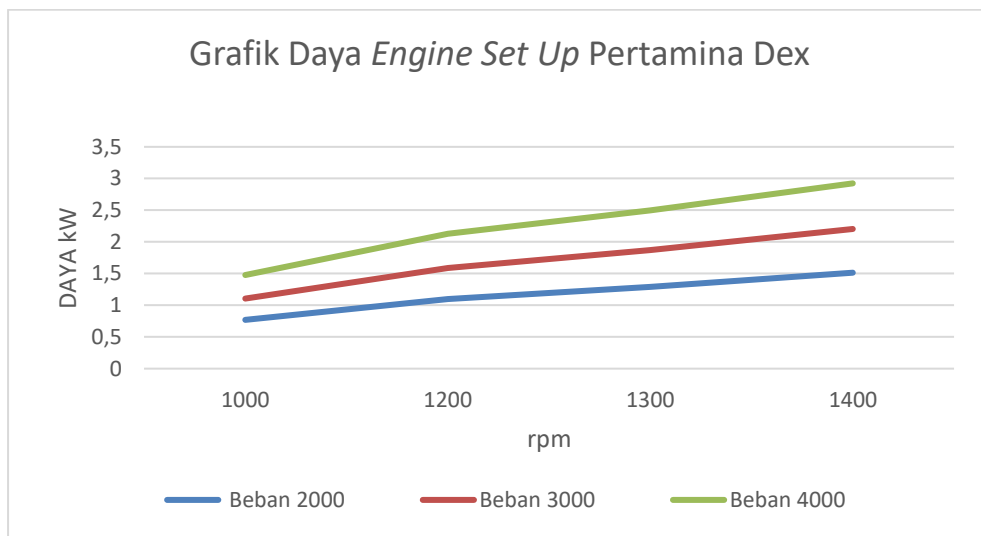
Pengukuran bahan bakar menggunakan buret ukur berkapasitas 25 mL yang dihubungkan ke saluran masuk bahan bakar mesin untuk mengukur konsumsi bahan bakar. Waktu yang diperlukan mesin untuk menghabiskan volume bahan bakar tersebut diukur menggunakan *stopwatch*, kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan laju konsumsi bahan bakar. Tekanan injector menggunakan tekanan standart sebesar 185 bar.

Pengukuran putaran mesin dilakukan menggunakan *tachometer digital* yang diarahkan ke *shaft coupling* antara mesin diesel dan generator. Metode ini dipilih karena putaran *shaft coupling* merupakan representasi langsung dari putaran poros mesin sehingga nilai putaran yang diperoleh sesuai dengan kondisi operasi mesin selama pengujian.

Generator yang digunakan merupakan generator tiga fasa, sehingga pengukuran parameter kelistrikan dilakukan pada masing-masing fasa, yaitu fasa R, S, dan T. Tegangan keluaran generator diukur menggunakan *voltmeter digital*, sedangkan arus listrik diukur menggunakan *digital clamp meter* yang dipasang pada setiap penghantar fasa. Data tegangan dan arus yang diperoleh digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan selama pengujian.

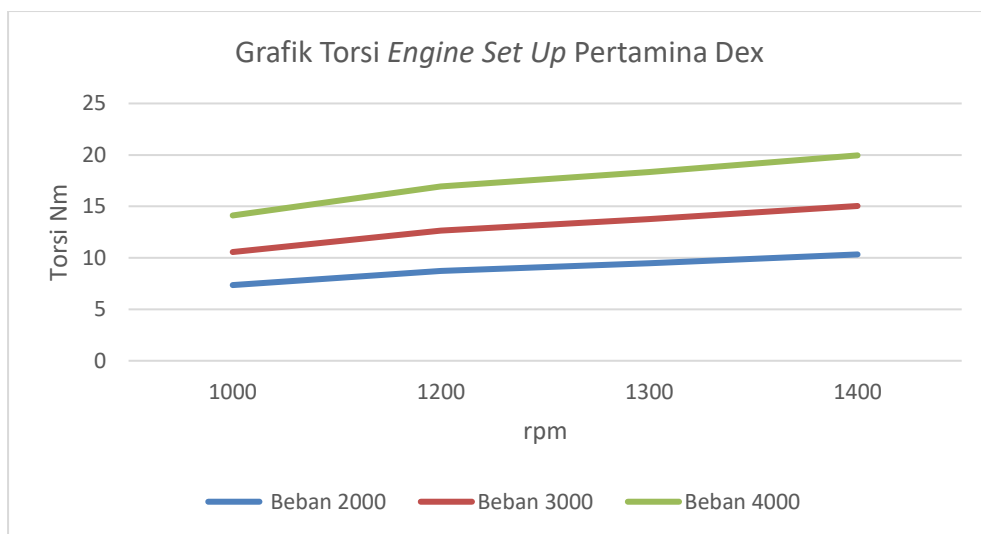
Pembebanan mesin dilakukan menggunakan bank lampu yang dikendalikan melalui sakelar penghubung sebagai pemutus rangkaian. Variasi beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2000 W, 3000 W, dan 4000 W, sedangkan variasi putaran mesin yang digunakan yaitu 1000 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, dan 1400 rpm.

Dilakukan pengujian unjuk kerja mesin diesel dengan piston DSCS menggunakan bahan bakar Pertamina Dex sebagai data pembanding yang ditampilkan dalam bentuk grafik.



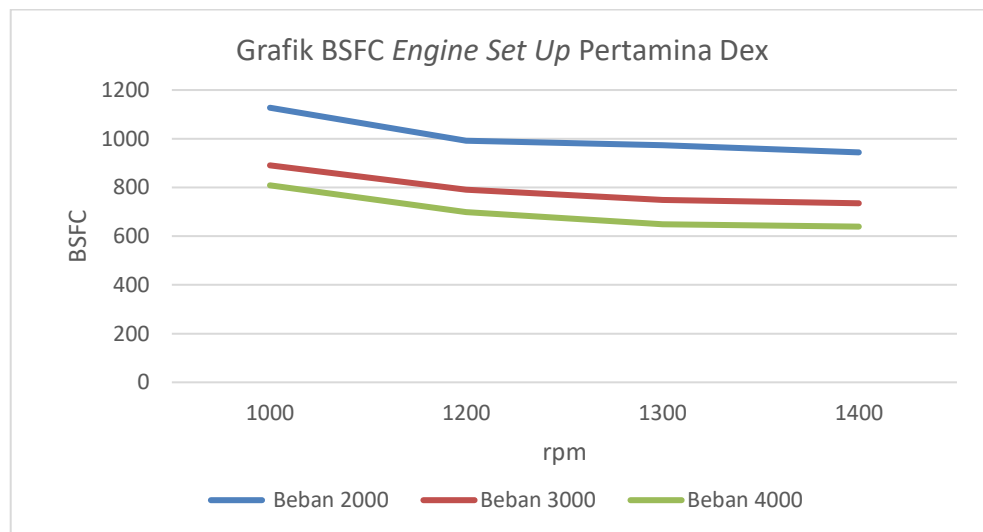
Gambar 4. 8 Grafik Daya Engine Set Up Pertamina Dex

Grafik menunjukkan bahwa daya mesin *Engine Set Up* Pertamina Dex meningkat seiring bertambahnya putaran mesin pada seluruh variasi beban. Pada beban 2000 W, daya meningkat dari 0,770 kW pada 1000 rpm menjadi 1,514 kW pada 1400 rpm. Peningkatan serupa juga terjadi pada beban 3000 W, yaitu dari 1,106 kW menjadi 2,204 kW, serta pada beban 4000 W dari 1,478 kW menjadi 2,924 kW. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin besar daya yang dihasilkan karena frekuensi langkah kerja mesin meningkat. Selain itu, peningkatan beban juga menghasilkan daya yang lebih tinggi pada setiap putaran, dengan daya maksimum sebesar 2,924 kW diperoleh pada beban 4000 W dan putaran 1400 rpm.



Gambar 4. 9 Grafik Torsi *Engine Set Up* Pertamina Dex

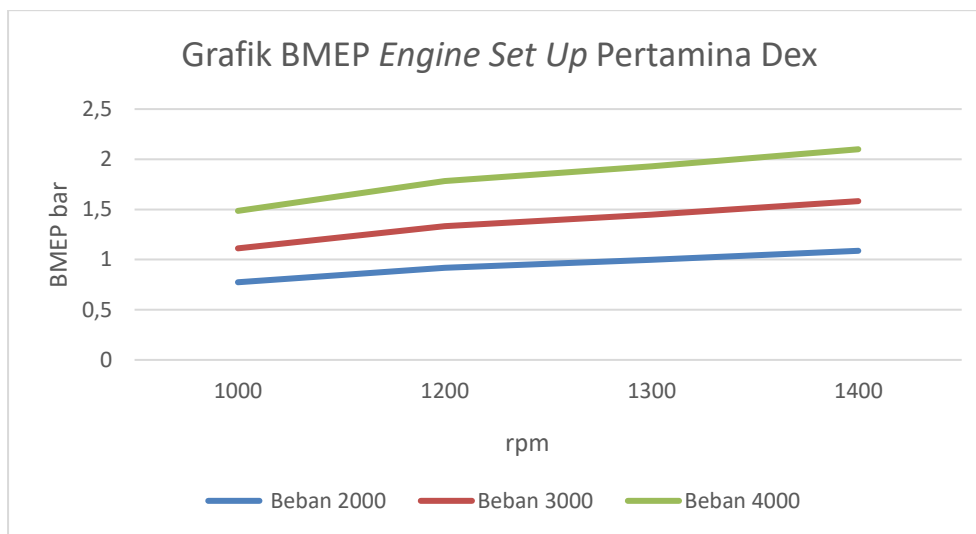
Grafik torsi *Engine Set Up* Pertamina Dex menunjukkan bahwa torsi meningkat seiring bertambahnya putaran mesin pada seluruh variasi beban. Pada beban 2000 W, torsi meningkat dari 7,35 Nm pada 1000 rpm menjadi 10,33 Nm pada 1400 rpm. Pada beban 3000 W, torsi naik dari 10,57 Nm menjadi 15,04 Nm, sedangkan pada beban 4000 W meningkat dari 14,12 Nm menjadi 19,95 Nm. Peningkatan torsi ini menunjukkan bahwa mesin mampu menghasilkan gaya putar yang lebih besar pada putaran yang lebih tinggi, sehingga daya keluaran juga meningkat. Selain itu, semakin besar beban yang diberikan, semakin tinggi torsi yang dihasilkan pada setiap putaran mesin, dengan nilai torsi maksimum sebesar 19,95 Nm yang diperoleh pada beban 4000 W dan 1400 rpm.



Gambar 4. 10 Grafik BSFC *Engine Set Up* Pertamina Dex

Grafik *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) Engine Set Up* Pertamina Dex menunjukkan bahwa nilai BSFC cenderung menurun seiring meningkatnya putaran mesin dan beban. Pada beban 2000 W, BSFC turun dari 1127,33 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 944,04 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan yang sama juga terjadi pada beban 3000 W, yaitu dari 890,78 g/kWh menjadi 735,08 g/kWh, serta pada beban 4000 W dari 808,79 g/kWh menjadi 639,30 g/kWh. Semakin rendah nilai BSFC menunjukkan bahwa mesin semakin efisien dalam mengubah energi bahan bakar menjadi daya efektif. Penurunan BSFC pada putaran yang lebih tinggi mengindikasikan proses pembakaran yang semakin optimal, sehingga daya yang

dihasilkan meningkat lebih besar dibandingkan konsumsi bahan bakar. Nilai BSFC terendah sebesar 639,30 g/kWh diperoleh pada beban 4000 W dan 1400 rpm.



Gambar 4. 11 Grafik BMEP *Engine Set Up* Pertamina Dex

Grafik *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) *Engine Set Up* Pertamina Dex menunjukkan bahwa nilai BMEP meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dan beban pengujian. Pada beban 2000 W, BMEP meningkat dari 0,774 bar pada 1000 rpm menjadi 1,087 bar pada 1400 rpm. Pada beban 3000 W, BMEP naik dari 1,112 bar menjadi 1,582 bar, sedangkan pada beban 4000 W meningkat dari 1,485 bar menjadi 2,100 bar. Peningkatan BMEP menunjukkan bahwa tekanan efektif rata-rata yang bekerja pada piston selama langkah usaha semakin besar, sehingga kemampuan mesin dalam menghasilkan torsi dan daya juga meningkat. Selain itu, semakin besar beban yang diberikan, semakin tinggi nilai BMEP yang diperoleh pada setiap putaran mesin. Nilai BMEP tertinggi sebesar 2,100 bar dicapai pada beban 4000 W dan 1400 rpm, yang mengindikasikan bahwa proses pembakaran berlangsung lebih efektif dan energi hasil pembakaran dapat dikonversi menjadi kerja mekanis dengan lebih optimal pada kondisi tersebut.

4.2.1 Perhitungan Unjuk Kerja Mesin Diesel

Perhitungan unjuk kerja meliputi Daya mesin diesel, Torsi, laju konsumsi bahan bakar (FCR), *Brake Specific Fuel Consumption* (BFSC), dan *Mean Effective Pressure* (BMEP). Menggunakan piston DSCS berbahan bakar Biosolar pada beban lampu 2000 watt dengan putaran mesin 1000 rpm.

Perhitungan daya mesin menggunakan persamaan (2.2)

$$\begin{aligned} P1 &= V1 \times I1 \\ &= 118 \times 1,33 \\ &= 156,28 \text{ watt} \\ &= 0,15628 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= V2 \times I2 \\ &= 122 \times 1,33 \\ &= 161,65 \text{ watt} \\ &= 0,16165 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P3 &= V3 \times I3 \\ &= 130 \times 2,48 \\ &= 322,4 \text{ watt} \\ &= 0,3224 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= \frac{P1 + P2 + P3}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}} \\ &= \frac{156,28 \text{ watt} + 161,65 \text{ watt} + 322,4 \text{ watt}}{0,9 \times 0,95} \\ &= 748,918 \text{ watt} \\ &= 0,74892 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan torsi menggunakan persamaan (2.3)

$$\begin{aligned} T &= \frac{P \times 60000}{2\pi \times n} \\ T &= \frac{0,74892 \text{ kW} \times 60000 \text{ s}}{2\pi \times 1000 \text{ RPM}} \\ T &= 7,155268745 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Perhitungan laju konsumsi bahan bakar menggunakan persamaan (2.4)

$$FCR = \frac{V \times \rho}{t}$$

$$FCR = \frac{0,000025 \text{ m}^3 \times 815 \text{ kg/m}^3}{80 \text{ s}}$$

$$FCR = 0,00025 \text{ kg/s} \times 3600$$

$$FCR = 0,91688 \text{ kg/h}$$

$$FCR = 916,875 \text{ gr/h}$$

Perhitungan BFSC menggunakan persamaan (2.5)

$$BSFC = \frac{FCR}{P}$$

$$BSFC = \frac{916,875 \text{ gr/h}}{0,74892 \text{ kW}}$$

$$BSFC = 1224,27 \text{ gr/kWh}$$

Perhitungan BMEP menggunakan persamaan (2.5)

$$BMEP = \frac{P \times z \times 60}{A \times l \times n \times i}$$

$$BMEP = \frac{0,74892 \text{ kW} \times 2 \times 60}{0,01038 \times 0,115 \times 1000 \times 1}$$

$$BMEP = 75287,1 \text{ N/m}$$

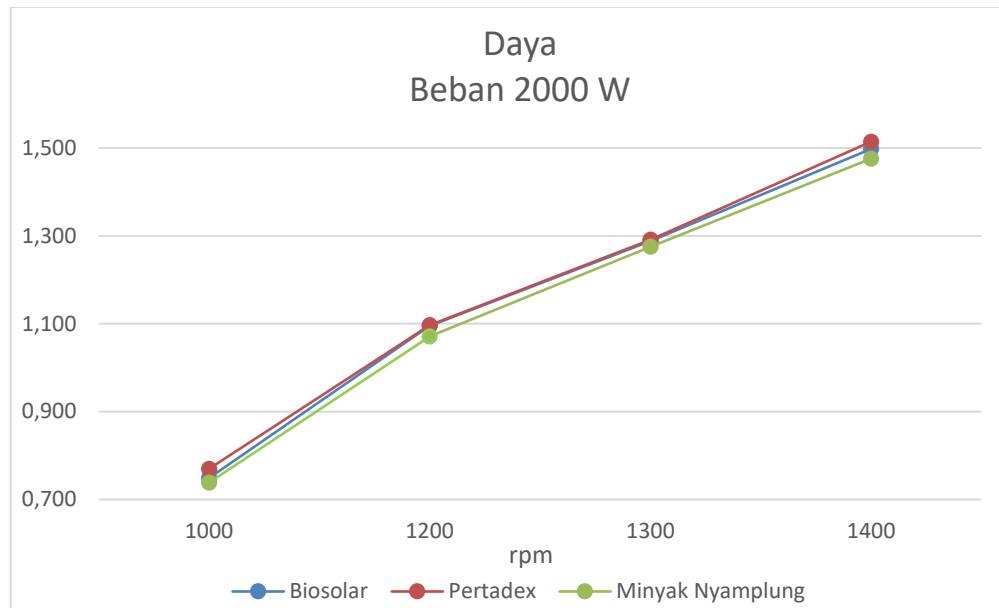
$$BMEP = 0,75287 \text{ Bar}$$

Perhitungan diatas merupakan salah satu contoh perhitungan unjuk kerja mesin diesel yang menggunakan piston DSCS berbahan bakar Biosolar dengan beban 2000 watt dan putaran mesin 1000 rpm.

4.2.2 Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Mesin Dengan Piston DSCS

Perbandingan unjuk kerja mesin diesel menggunakan piston DSCS berbahan bakar Biosolar, Pertamina Dex, dan B40 Minyak Nyamplung, dengan variasi tingkat pembebanan dan rpm yang berbeda. Analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja dan perbedaan pada setiap bahan bakar yang disajikan dalam bentuk grafik.

4.2.2.1 Analisis perbandingan Daya



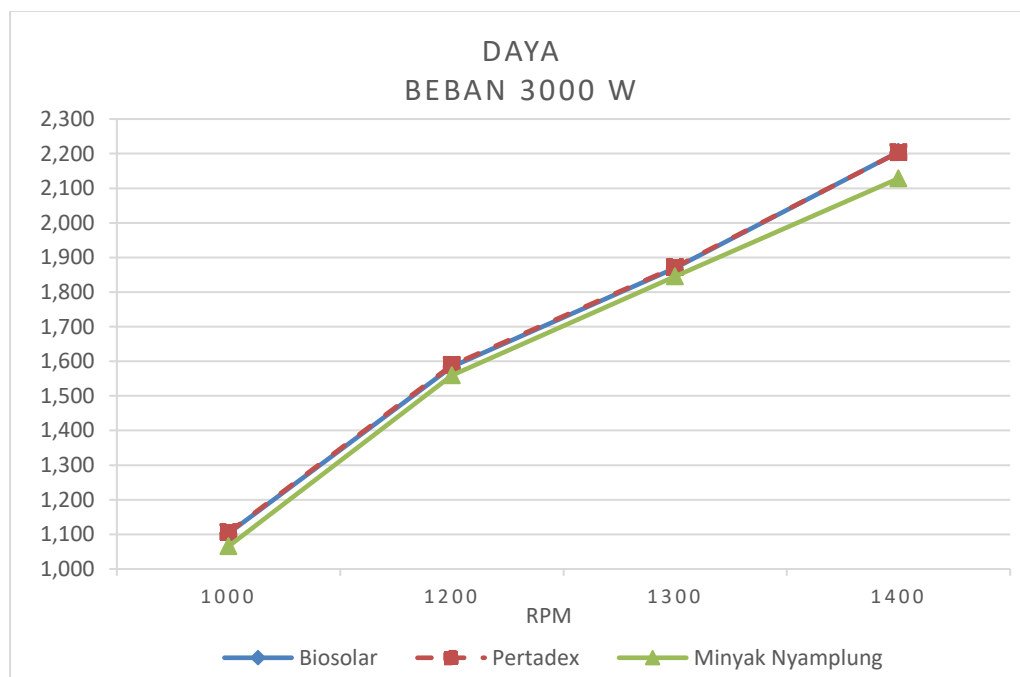
Gambar 4. 12 Grafik Daya Beban 2000

Berdasarkan grafik daya pada beban 2000 W, terlihat bahwa ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung, menunjukkan tren yang sama, yaitu daya meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm. Peningkatan ini terjadi karena semakin tinggi putaran mesin, semakin banyak siklus pembakaran yang berlangsung dalam setiap satuan waktu sehingga daya yang dihasilkan semakin besar. Pada seluruh variasi putaran, Pertadex menghasilkan daya tertinggi, diikuti oleh Biosolar, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan daya yang sedikit lebih rendah.

Pada 1000 rpm, daya yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 berturut-turut sebesar 0,7698 kW, 0,749 kW, dan 0,738 kW. Seiring peningkatan putaran, daya seluruh bahan bakar terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 1,5141 kW untuk Pertadex, 1,498 kW untuk Biosolar, dan 1,475 kW untuk B40 minyak nyamplung. Meskipun menghasilkan daya yang lebih rendah, selisih daya B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, berkisar antara 1–4% pada seluruh variasi putaran mesin.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan daya yang mendekati Biosolar dan Pertadex pada beban 2000 W. Selisih daya yang relatif kecil mengindikasikan bahwa penggunaan biodiesel B40

tidak menyebabkan penurunan performa mesin yang signifikan

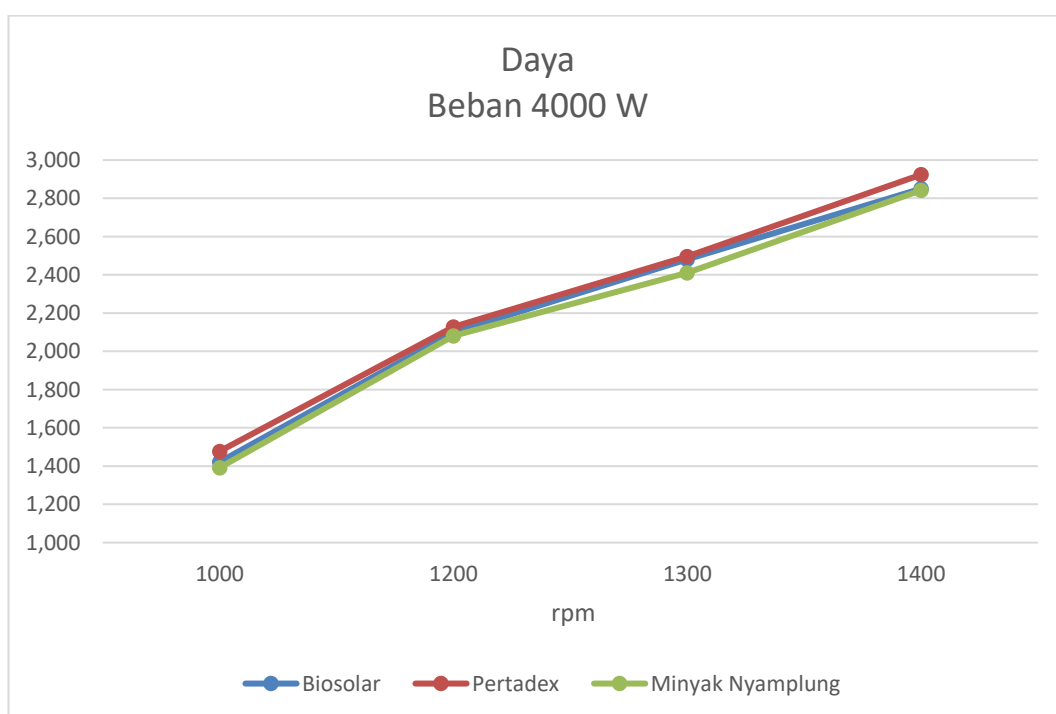


Gambar 4. 13 Grafik Daya Beban 3000

Berdasarkan grafik daya pada beban 3000 W, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm menyebabkan daya yang dihasilkan oleh ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung, terus meningkat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin banyak siklus pembakaran yang terjadi sehingga energi hasil pembakaran yang dikonversi menjadi daya efektif semakin besar. Pada seluruh variasi putaran, Pertadex dan Biosolar menghasilkan daya yang hampir sama, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan daya yang sedikit lebih rendah.

Pada 1000 rpm, daya yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 berturut-turut sebesar 1,1059 kW, 1,103 kW, dan 1,065 kW. Seiring meningkatnya putaran mesin, daya ketiga bahan bakar terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 2,205 kW untuk Biosolar, 2,2038 kW untuk Pertadex, dan 2,128 kW untuk B40 minyak nyamplung. Selisih daya B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, berkisar antara 1,34% hingga 3,70%, sehingga menunjukkan bahwa performa daya B40 semakin mendekati bahan bakar diesel konvensional pada putaran menengah hingga tinggi.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan daya yang kompetitif dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 3000 W, meskipun nilainya sedikit lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik biodiesel B40 yang memiliki nilai kalor lebih rendah dan viskositas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel, sehingga energi yang dihasilkan selama proses pembakaran sedikit berkurang. Namun, karena selisih daya yang dihasilkan relatif kecil, B40 minyak nyamplung tetap memiliki potensi yang baik sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel, tanpa menyebabkan penurunan performa daya yang signifikan.



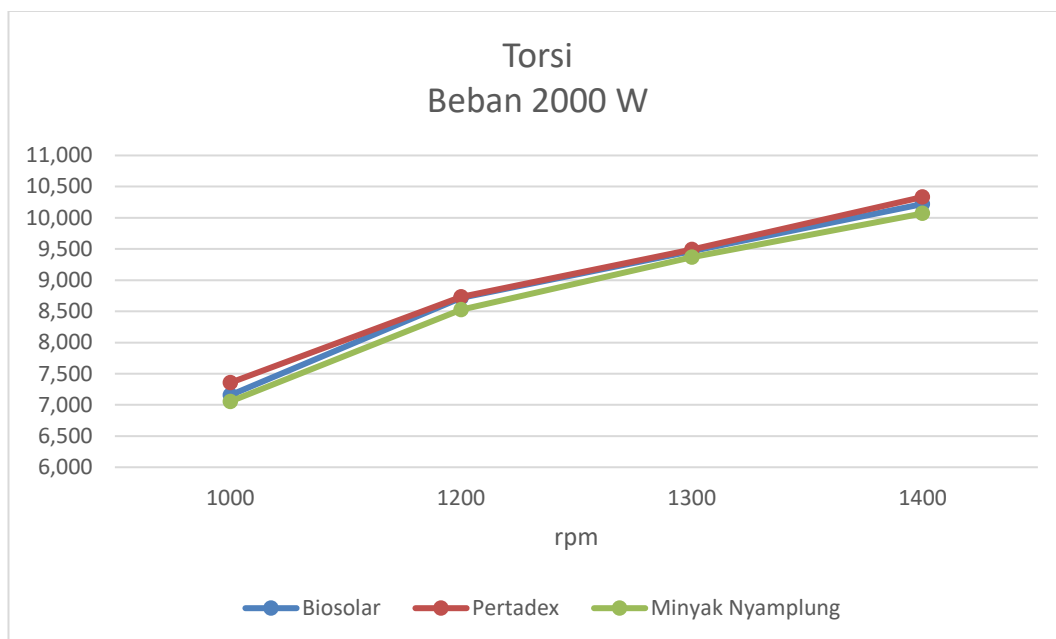
Gambar 4. 14 Grafik Beban 4000

Berdasarkan grafik daya pada beban 4000 W, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm menyebabkan daya yang dihasilkan oleh ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung, meningkat secara konsisten. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin besar energi hasil pembakaran yang dikonversikan menjadi daya efektif pada poros mesin. Pada seluruh variasi putaran, Pertadex menghasilkan daya tertinggi, diikuti oleh Biosolar, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan daya yang sedikit lebih rendah.

Pada 1000 rpm, daya yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 minyak nyamplung berturut-turut sebesar 1,4776 kW, 1,422 kW, dan 1,392 kW. Seiring meningkatnya putaran mesin, daya seluruh bahan bakar terus bertambah hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 2,9239 kW untuk Pertadex, 2,850 kW untuk Biosolar, dan 2,842 kW untuk B40 minyak nyamplung. Selisih daya B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,28% hingga 5,79%. Bahkan pada putaran 1400 rpm, selisih daya B40 terhadap Biosolar hanya sekitar 0,28%, menunjukkan bahwa performa B40 semakin mendekati bahan bakar diesel konvensional pada putaran tinggi.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan daya yang kompetitif dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 4000 W, meskipun nilainya sedikit lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik biodiesel B40 yang memiliki nilai kalor lebih rendah dan viskositas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel konvensional, sehingga energi yang dilepaskan selama proses pembakaran sedikit berkurang. Namun, karena selisih daya yang dihasilkan relatif kecil dan cenderung semakin mengecil pada putaran tinggi, B40 minyak nyamplung tetap menunjukkan performa yang mendekati Biosolar dan Pertadex, sehingga berpotensi menjadi bahan bakar alternatif yang layak digunakan pada mesin diesel empat langkah tanpa menyebabkan penurunan daya yang signifikan.

4.2.2.2 Analisis perbandingan Torsi

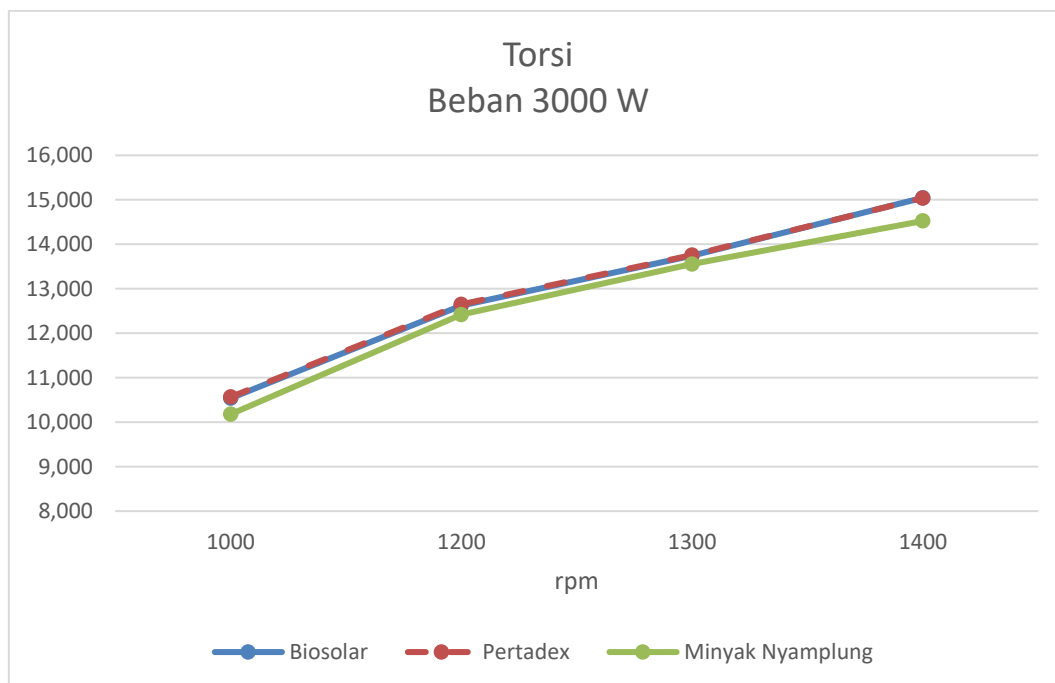


Gambar 4. 15 Grafik Torsi Beban 2000

Berdasarkan grafik torsi pada beban 2000 W, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm menyebabkan torsi yang dihasilkan oleh ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung, meningkat secara konsisten. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin besar kemampuan mesin menghasilkan gaya puntir pada poros. Pada seluruh variasi putaran mesin, Pertadex menghasilkan torsi tertinggi, diikuti oleh Biosolar, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi yang sedikit lebih rendah dengan pola kenaikan yang serupa.

Pada 1000 rpm, torsi yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 minyak nyamplung berturut-turut sebesar 7,3551 Nm, 7,155 Nm, dan 7,055 Nm. Seiring meningkatnya putaran mesin, torsi seluruh bahan bakar terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 10,3331 Nm untuk Pertadex, 10,221 Nm untuk Biosolar, dan 10,069 Nm untuk B40 minyak nyamplung. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, yaitu berkisar antara 1,02% hingga 4,08%, sehingga menunjukkan bahwa performa torsi B40 semakin mendekati kedua bahan bakar diesel tersebut, terutama pada putaran menengah hingga tinggi.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan torsi yang kompetitif dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 2000 W, meskipun nilainya sedikit lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik biodiesel B40 yang memiliki nilai kalor lebih rendah dan viskositas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel konvensional, sehingga energi hasil pembakaran yang dikonversikan menjadi gaya puntir pada poros mesin sedikit berkurang. Namun, karena selisih torsi yang dihasilkan relatif kecil, B40 minyak nyamplung tetap menunjukkan performa yang mendekati Biosolar dan Pertadex, sehingga layak dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel tanpa menyebabkan penurunan torsi yang signifikan.



Gambar 4. 16 Grafik Torsi Beban 3000

Berdasarkan Gambar Torsi pada Beban 3000 W, terlihat bahwa torsi yang dihasilkan mesin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung. Peningkatan torsi tersebut menunjukkan bahwa pada pembebanan sebesar 3000 W, mesin mampu menghasilkan gaya puntir yang lebih besar seiring meningkatnya putaran mesin. Ketiga bahan bakar juga menunjukkan pola kenaikan yang hampir serupa, sehingga karakteristik pembakaran masing-masing bahan bakar masih mampu mendukung peningkatan

performa mesin secara konsisten.

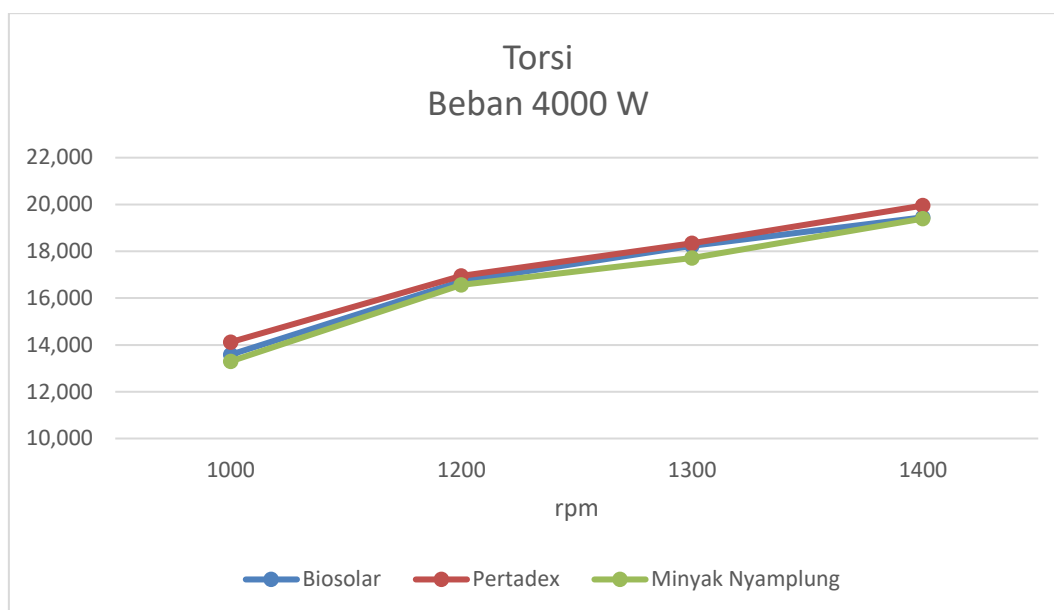
Pada putaran 1000 rpm, Pertadex menghasilkan torsi tertinggi sebesar 10,5661 Nm, diikuti oleh Biosolar sebesar 10,538 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 10,179 Nm. Dibandingkan Biosolar, torsi yang dihasilkan B40 lebih rendah sebesar 0,359 Nm atau sekitar 3,41%, sedangkan dibandingkan Pertadex selisihnya sebesar 0,3871 Nm atau sekitar 3,66%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada putaran rendah, penggunaan B40 masih menghasilkan torsi yang sedikit lebih kecil akibat karakteristik biodiesel yang memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan bahan bakar diesel konvensional.

Pada putaran 1200 rpm, torsi seluruh bahan bakar mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pertadex menghasilkan torsi sebesar 12,6527 Nm, Biosolar sebesar 12,617 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung sebesar 12,419 Nm. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar sebesar 0,198 Nm atau sekitar 1,57%, sedangkan terhadap Pertadex sebesar 0,2337 Nm atau sekitar 1,85%. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan performa torsi antara B40 dan kedua bahan bakar diesel semakin kecil pada putaran menengah.

Pada putaran 1300 rpm, torsi yang dihasilkan kembali meningkat. Pertadex menghasilkan torsi sebesar 13,7567 Nm, Biosolar sebesar 13,740 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 13,558 Nm. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar sebesar 0,182 Nm atau sekitar 1,32%, sedangkan terhadap Pertadex sebesar 0,1987 Nm atau sekitar 1,44%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada putaran ini B40 mampu menghasilkan torsi yang semakin mendekati Biosolar maupun Pertadex.

Pada putaran 1400 rpm, seluruh bahan bakar menghasilkan torsi maksimum pada pembebanan 3000 W. Berdasarkan data hasil pengujian, Biosolar menghasilkan torsi tertinggi sebesar 15,046 Nm, diikuti Pertadex sebesar 15,0398 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 14,524 Nm. Torsi yang dihasilkan B40 lebih rendah sebesar 0,522 Nm atau sekitar 3,47% dibandingkan Biosolar dan lebih rendah sebesar 0,5158 Nm atau sekitar 3,43% dibandingkan Pertadex. Meskipun pada grafik garis Pertadex tampak sedikit lebih tinggi, berdasarkan data numerik pada tabel Biosolar memiliki nilai torsi yang

sedikit lebih besar dengan selisih 0,0062 Nm, sehingga perbedaan tersebut dapat dianggap sangat kecil.



Gambar 4. 17 Grafik Torsi Beban 4000

Berdasarkan Gambar Torsi pada Beban 4000 W, terlihat bahwa torsi yang dihasilkan mesin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung. Peningkatan torsi tersebut menunjukkan bahwa pada pembebanan sebesar 4000 W, mesin mampu menghasilkan gaya puntir yang semakin besar seiring meningkatnya putaran mesin. Pola kenaikan torsi yang ditunjukkan oleh ketiga bahan bakar juga relatif serupa, sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik pembakaran masing-masing bahan bakar mampu mengikuti peningkatan beban dan putaran mesin dengan baik.

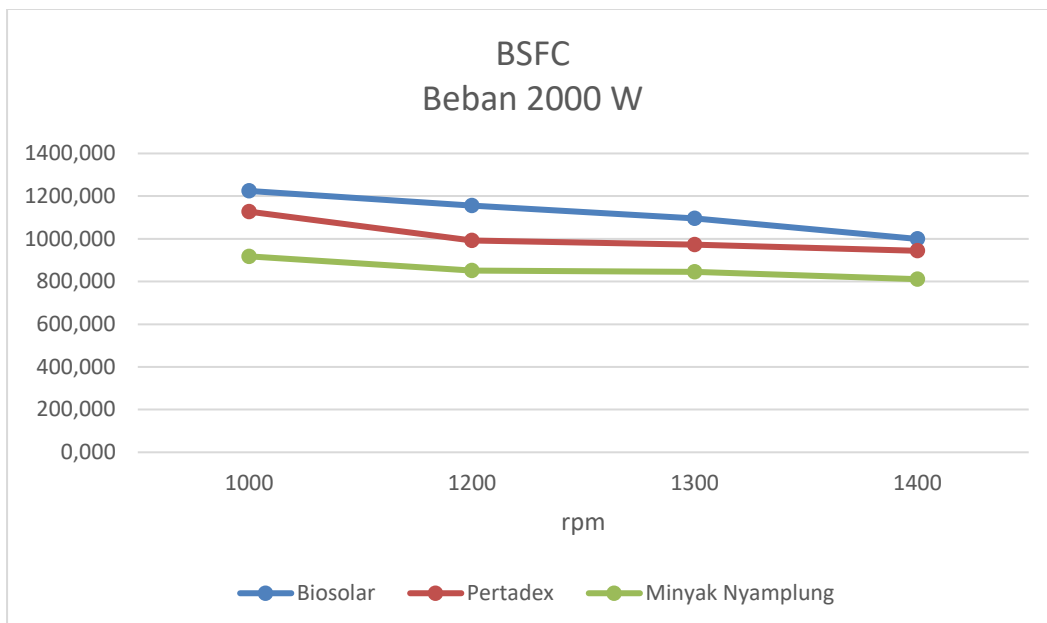
Pada putaran 1000 rpm, Pertadex menghasilkan torsi tertinggi sebesar 14,1174 Nm, diikuti oleh Biosolar sebesar 13,582 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 13,298 Nm. Dibandingkan dengan Biosolar, torsi B40 lebih rendah sebesar 0,284 Nm atau sekitar 2,09%, sedangkan dibandingkan Pertadex selisihnya sebesar 0,8194 Nm atau sekitar 5,80%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada putaran rendah, penggunaan B40 masih menghasilkan torsi yang lebih kecil, yang diduga dipengaruhi oleh nilai kalor biodiesel yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar diesel konvensional.

Pada putaran 1200 rpm, torsi seluruh bahan bakar mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pertadex menghasilkan torsi sebesar 16,9417 Nm, Biosolar sebesar 16,716 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung sebesar 16,566 Nm. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar sebesar 0,150 Nm atau sekitar 0,90%, sedangkan terhadap Pertadex sebesar 0,3757 Nm atau sekitar 2,22%. Selisih yang semakin kecil menunjukkan bahwa pembakaran B40 menjadi lebih efektif pada putaran mesin yang lebih tinggi.

Pada putaran 1300 rpm, torsi kembali mengalami peningkatan. Pertadex menghasilkan torsi sebesar 18,3440 Nm, Biosolar sebesar 18,235 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 17,714 Nm. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar sebesar 0,521 Nm atau sekitar 2,86%, sedangkan terhadap Pertadex sebesar 0,6300 Nm atau sekitar 3,43%. Hasil ini menunjukkan bahwa walaupun torsi B40 masih berada di bawah kedua bahan bakar diesel, peningkatan torsi yang dihasilkan tetap mengikuti pola yang sama.

Pada putaran 1400 rpm, seluruh bahan bakar menghasilkan torsi maksimum pada pembebanan 4000 W. Pertadex menghasilkan torsi sebesar 19,9537 Nm, Biosolar sebesar 19,451 Nm, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan torsi sebesar 19,395 Nm. Selisih torsi B40 terhadap Biosolar hanya sebesar 0,056 Nm atau sekitar 0,29%, sedangkan terhadap Pertadex sebesar 0,5587 Nm atau sekitar 2,80%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada putaran tinggi performa torsi B40 sangat mendekati Biosolar.

4.2.2.3 Analisis perbandingan BSFC



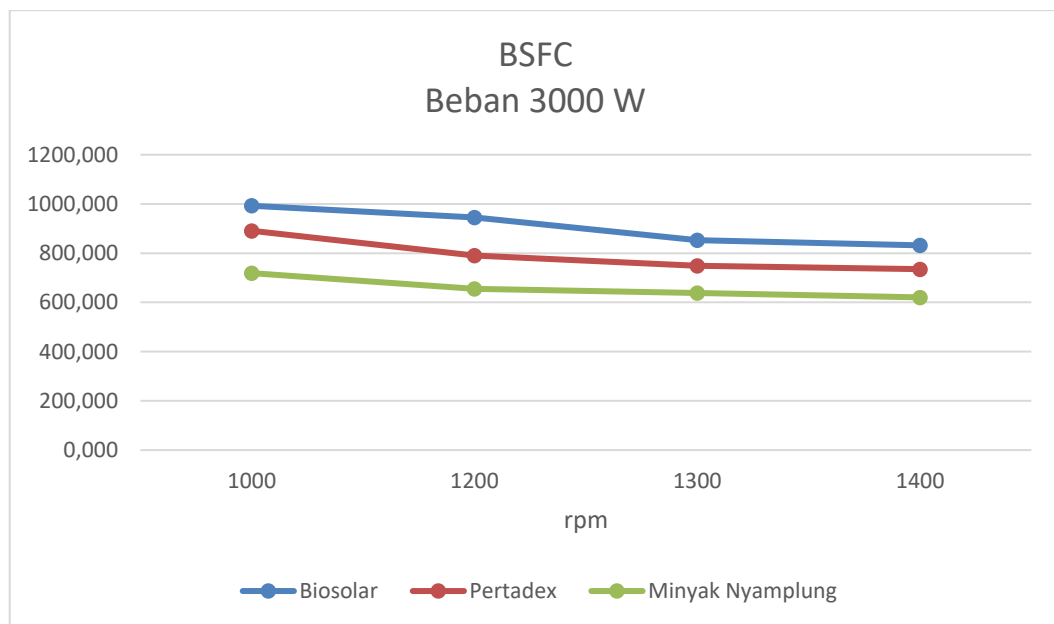
Gambar 4. 18 Grafik BFSC Beban 2000

Berdasarkan grafik *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) pada beban 2000 W, terlihat bahwa nilai BSFC seluruh jenis bahan bakar mengalami penurunan seiring meningkatnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm. Kondisi ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar meningkat pada putaran yang lebih tinggi karena proses pembakaran berlangsung lebih optimal. Biosolar mengalami penurunan BSFC dari 1224,266 g/kWh menjadi 999,524 g/kWh, Pertadex dari 1127,325 g/kWh menjadi 944,037 g/kWh, sedangkan B40 minyak nyamplung turun dari 917,939 g/kWh menjadi 811,079 g/kWh.

Dibandingkan dengan Biosolar dan Pertadex, B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai BSFC yang paling rendah pada seluruh variasi putaran mesin. Pada putaran 1000 rpm, BSFC B40 lebih rendah sekitar 25,0% dibandingkan Biosolar dan 18,6% dibandingkan Pertadex. Sementara itu, pada 1400 rpm, selisih tersebut masih cukup signifikan, yaitu sekitar 18,8% lebih rendah dibandingkan Biosolar dan 14,1% lebih rendah dibandingkan Pertadex. Nilai BSFC yang lebih rendah menunjukkan bahwa mesin memerlukan massa bahan bakar yang lebih sedikit untuk menghasilkan energi sebesar 1 kWh, sehingga efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi lebih baik.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan B40 minyak nyamplung

pada mesin diesel dengan piston Double Swirl Combustion System (DSCS) memberikan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan Biosolar maupun Pertadex pada beban 2000 W. Desain ruang bakar DSCS yang mampu meningkatkan turbulensi dan homogenitas campuran udara dan bahan bakar diduga mendukung proses pembakaran yang lebih sempurna, sehingga energi yang dihasilkan lebih optimal dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah.



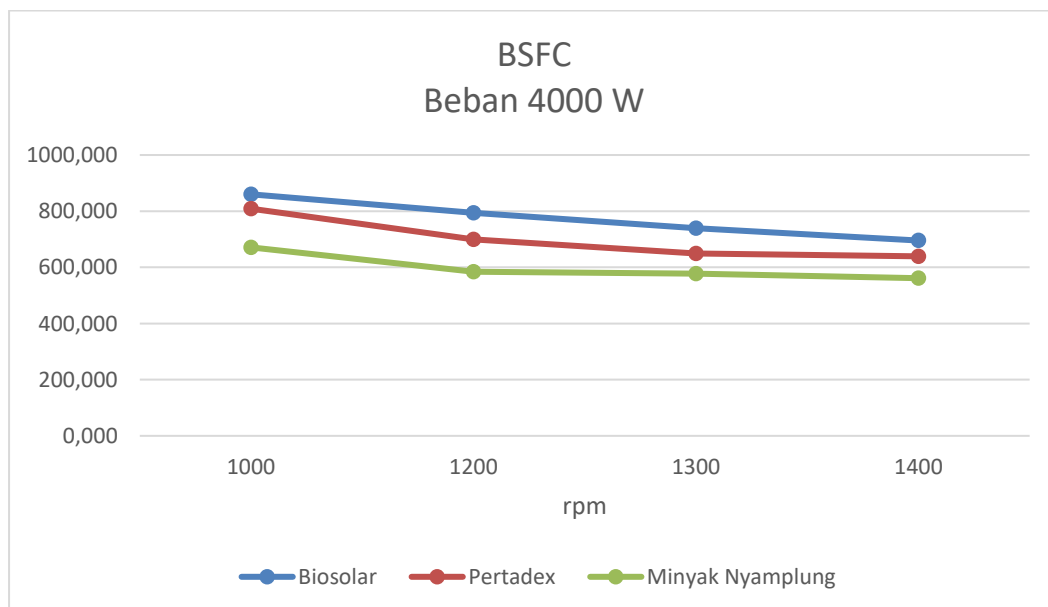
Gambar 4. 19 Grafik BFSC beban 3000

Berdasarkan grafik *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) pada beban 3000 W, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm menyebabkan nilai BSFC seluruh bahan bakar mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin efisien penggunaan bahan bakar karena jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya sebesar 1 kWh semakin kecil. Biosolar mengalami penurunan nilai BSFC dari 992,584 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 831,748 g/kWh pada 1400 rpm atau turun sekitar 16,21%. Pertadex juga mengalami penurunan dari 890,783 g/kWh menjadi 735,083 g/kWh atau sekitar 17,48%, sedangkan B40 minyak nyamplung mengalami penurunan dari 718,887 g/kWh menjadi 620,461 g/kWh atau sekitar 13,69%.

Apabila dibandingkan antarjenis bahan bakar, B40 minyak nyamplung

secara konsisten menghasilkan nilai BSFC yang paling rendah pada seluruh variasi putaran mesin. Pada putaran 1000 rpm, nilai BSFC B40 lebih rendah sekitar 27,6% dibandingkan Biosolar dan sekitar 19,3% dibandingkan Pertadex. Sementara itu, pada putaran 1400 rpm, nilai BSFC B40 tetap lebih rendah sekitar 25,4% dibandingkan Biosolar dan 15,6% dibandingkan Pertadex. Nilai BSFC yang lebih rendah menunjukkan bahwa massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi keluaran yang sama lebih sedikit, sehingga efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi lebih baik dibandingkan kedua bahan bakar lainnya.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan B40 minyak nyamplung pada mesin diesel dengan piston Double Swirl Combustion System (DSCS) mampu memberikan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan Biosolar maupun Pertadex pada beban 3000 W. Efisiensi ini diduga dipengaruhi oleh karakteristik biodiesel B40 yang didukung oleh desain ruang bakar DSCS, sehingga pencampuran udara dan bahan bakar menjadi lebih homogen, proses pembakaran berlangsung lebih sempurna, dan energi hasil pembakaran dapat dimanfaatkan secara lebih optimal.



Gambar 4. 20 Grafik BFSC beban 4000

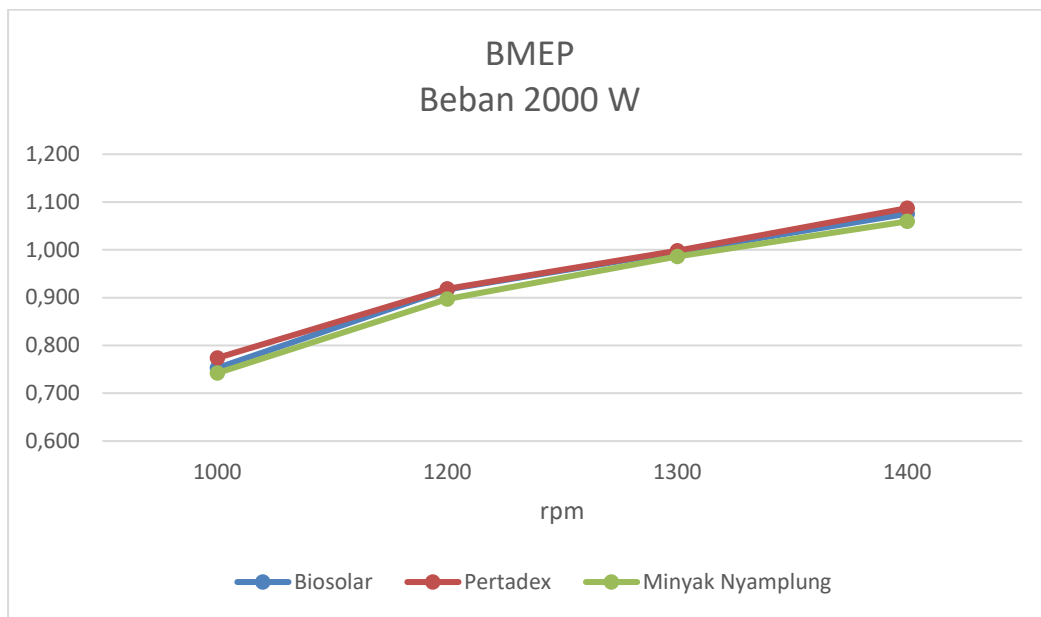
Berdasarkan grafik *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) pada beban

4000 W, terlihat bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm menyebabkan nilai BSFC seluruh bahan bakar mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin efisien penggunaan bahan bakar karena massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya sebesar 1 kWh semakin kecil. Biosolar mengalami penurunan nilai BSFC dari 859,975 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 695,537 g/kWh pada 1400 rpm atau turun sekitar 19,12%. Pertadex juga mengalami penurunan dari 808,789 g/kWh menjadi 639,299 g/kWh atau sekitar 20,95%, sedangkan B40 minyak nyamplung mengalami penurunan dari 671,082 g/kWh menjadi 561,428 g/kWh atau sekitar 16,34%.

Apabila dibandingkan antarjenis bahan bakar, B40 minyak nyamplung secara konsisten menghasilkan nilai BSFC yang paling rendah pada seluruh variasi putaran mesin. Pada putaran 1000 rpm, nilai BSFC B40 lebih rendah sekitar 21,97% dibandingkan Biosolar dan sekitar 17,02% dibandingkan Pertadex. Sementara itu, pada putaran 1400 rpm, nilai BSFC B40 masih lebih rendah sekitar 19,28% dibandingkan Biosolar dan 12,18% dibandingkan Pertadex. Nilai BSFC yang lebih rendah menunjukkan bahwa B40 membutuhkan massa bahan bakar yang lebih sedikit untuk menghasilkan energi keluaran yang sama, sehingga efisiensi konsumsi bahan bakarnya lebih baik dibandingkan kedua bahan bakar pembanding.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan B40 minyak nyamplung pada mesin diesel dengan piston Double Swirl Combustion System (DSCS) mampu memberikan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik dibandingkan Biosolar maupun Pertadex pada beban 4000 W. Desain ruang bakar DSCS yang menghasilkan aliran udara berputar (swirl) meningkatkan turbulensi dan homogenitas pencampuran udara dengan bahan bakar, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih sempurna dan energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Dengan demikian, berdasarkan nilai BSFC yang paling rendah pada seluruh rentang putaran mesin yang diuji, B40 minyak nyamplung menunjukkan performa efisiensi bahan bakar terbaik pada pengujian beban 4000 W.

4.2.2.4 Analisis perbandingan BMEP

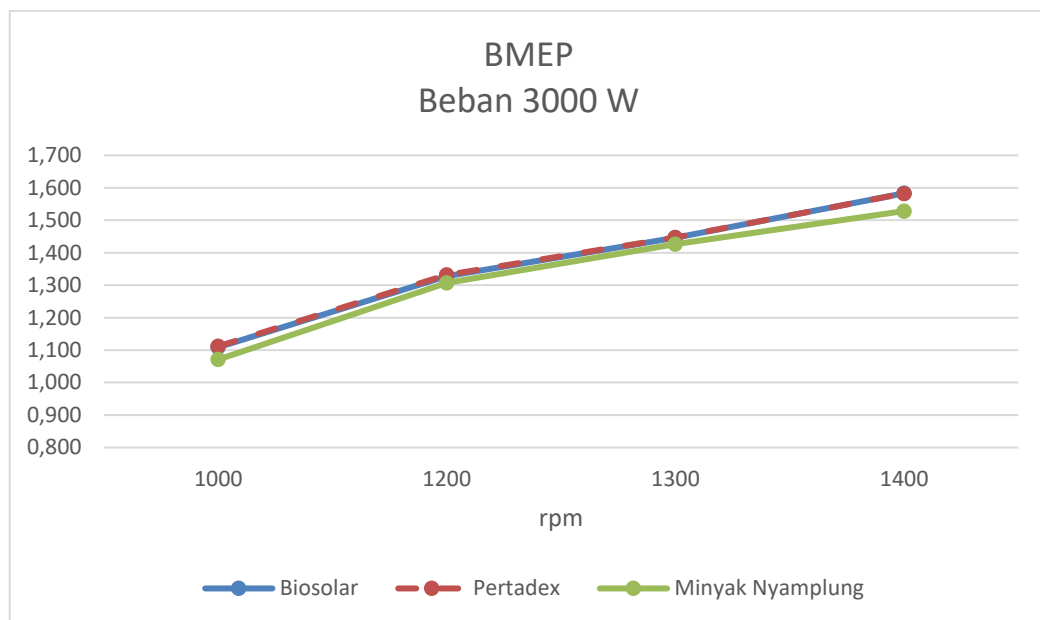


Gambar 4. 21 Grafik BMEP beban 2000

Berdasarkan grafik *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) pada beban 2000 W, terlihat bahwa nilai BMEP meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung. Peningkatan BMEP menunjukkan bahwa tekanan efektif rata-rata yang bekerja pada piston selama langkah usaha semakin besar, sehingga kemampuan mesin dalam mengubah energi hasil pembakaran menjadi kerja mekanis juga meningkat. Pada seluruh variasi putaran mesin, Pertadex menghasilkan nilai BMEP tertinggi, diikuti oleh Biosolar, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai yang sedikit lebih rendah.

Pada 1000 rpm, nilai BMEP yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 minyak nyamplung berturut-turut sebesar 0,7739 bar, 0,753 bar, dan 0,742 bar. Seiring meningkatnya putaran mesin, nilai BMEP seluruh bahan bakar terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 1,0872 bar untuk Pertadex, 1,075 bar untuk Biosolar, dan 1,059 bar untuk B40 minyak nyamplung. Selisih nilai BMEP B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, yaitu berkisar antara 1,00% hingga 4,12%, sehingga menunjukkan bahwa tekanan efektif hasil pembakaran B40 semakin mendekati kedua bahan bakar diesel konvensional, terutama pada putaran menengah hingga tinggi.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan nilai BMEP yang kompetitif dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 2000 W, meskipun nilainya sedikit lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar B40, seperti angka setana sebesar 42,4, viskositas 3,38–3,46 cSt, densitas 850–851 kg/m³, serta nilai kalor 49.071 kJ/kg, yang memengaruhi proses pembakaran dan tekanan efektif yang dihasilkan di dalam silinder. Namun, karena selisih nilai BMEP relatif kecil, B40 minyak nyamplung tetap mampu menghasilkan tekanan efektif yang mendekati Biosolar dan Pertadex, sehingga menunjukkan kinerja pembakaran yang baik dan berpotensi sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel.



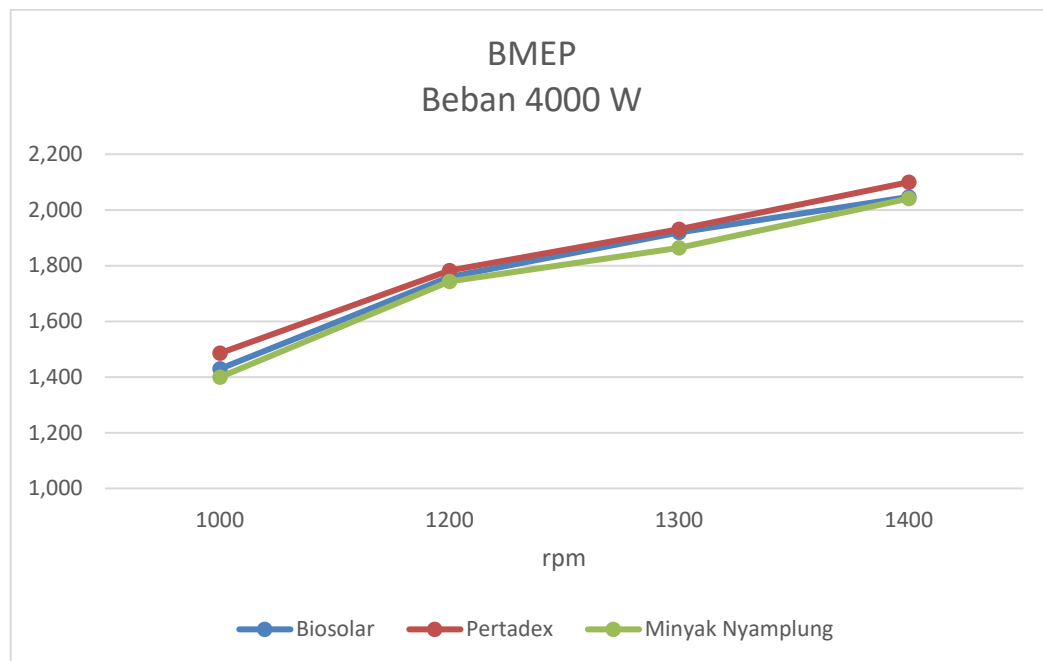
Gambar 4. 22 Grafik BMEP beban 3000

Berdasarkan grafik *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) pada beban 3000 W, terlihat bahwa nilai BMEP meningkat secara bertahap seiring bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung. Peningkatan nilai BMEP menunjukkan bahwa tekanan efektif rata-rata yang bekerja pada piston selama langkah usaha semakin besar, sehingga kemampuan mesin dalam mengubah energi hasil pembakaran menjadi kerja mekanis juga meningkat. Pada seluruh variasi putaran mesin, Pertadex dan Biosolar menghasilkan nilai BMEP yang hampir sama, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai BMEP yang

sedikit lebih rendah.

Pada 1000 rpm, nilai BMEP yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 minyak nyamplung berturut-turut sebesar 1,1118 bar, 1,109 bar, dan 1,071 bar. Seiring meningkatnya putaran mesin, nilai BMEP seluruh bahan bakar terus bertambah hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 1,583 bar untuk Biosolar, 1,5825 bar untuk Pertadex, dan 1,528 bar untuk B40 minyak nyamplung. Selisih nilai BMEP B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, yaitu berkisar antara 1,31% hingga 3,67%, sedangkan selisih antara Biosolar dan Pertadex pada putaran 1400 rpm hanya 0,0005 bar, sehingga keduanya memiliki performa yang hampir identik.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung mampu menghasilkan nilai BMEP yang kompetitif dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 3000 W, meskipun nilainya sedikit lebih rendah. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik biodiesel B40 yang memiliki nilai kalor lebih rendah dan viskositas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel konvensional, sehingga tekanan efektif hasil pembakaran yang dihasilkan sedikit lebih kecil. Namun, karena selisih nilai BMEP relatif kecil dan pola kenaikannya serupa dengan Biosolar maupun Pertadex, B40 minyak nyamplung tetap menunjukkan kinerja pembakaran yang baik serta berpotensi sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel tanpa menyebabkan penurunan performa yang signifikan.



Gambar 4. 23 Grafik BMEP beban 4000

Berdasarkan grafik *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) pada beban 4000 W, terlihat bahwa nilai BMEP meningkat secara konsisten seiring bertambahnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada ketiga jenis bahan bakar, yaitu Biosolar, Pertadex, dan B40 minyak nyamplung. Peningkatan nilai BMEP menunjukkan bahwa tekanan efektif rata-rata yang bekerja pada piston selama langkah usaha semakin besar, sehingga kemampuan mesin dalam mengubah energi hasil pembakaran menjadi kerja mekanis juga meningkat. Pada seluruh variasi putaran mesin, Pertadex menghasilkan nilai BMEP tertinggi, diikuti oleh Biosolar, sedangkan B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai BMEP yang sedikit lebih rendah dengan pola kenaikan yang serupa.

Pada 1000 rpm, nilai BMEP yang dihasilkan Pertadex, Biosolar, dan B40 minyak nyamplung berturut-turut sebesar 1,4854 bar, 1,429 bar, dan 1,399 bar. Seiring meningkatnya putaran mesin, nilai BMEP seluruh bahan bakar terus bertambah hingga mencapai nilai maksimum pada 1400 rpm, yaitu 2,0995 bar untuk Pertadex, 2,047 bar untuk Biosolar, dan 2,041 bar untuk B40 minyak nyamplung. Selisih nilai BMEP B40 terhadap Biosolar dan Pertadex relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,29% hingga 5,82%. Bahkan pada putaran 1400 rpm, selisih BMEP B40 terhadap Biosolar hanya sekitar 0,29%, menunjukkan bahwa tekanan

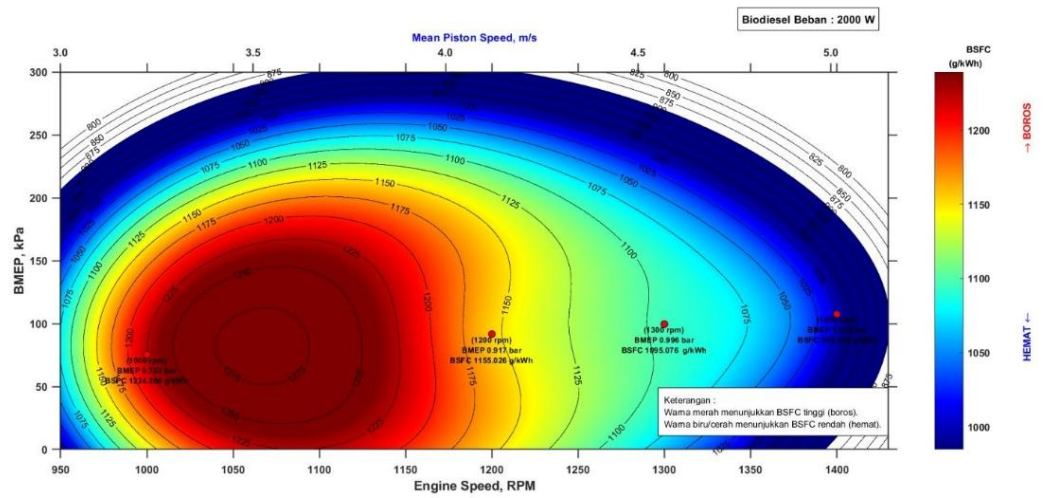
efektif hasil pembakaran B40 semakin mendekati bahan bakar diesel konvensional pada putaran tinggi.

Secara keseluruhan, B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai BMEP yang lebih rendah dibandingkan Biosolar dan Pertadex pada beban 4000 W. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik B40 hasil uji laboratorium, yaitu nilai kalor sebesar 49.071 kJ/kg, densitas 850–851 kg/m³, viskositas 3,38–3,46 cSt, dan angka setana sebesar 42,4, yang memengaruhi proses pembakaran di dalam silinder. Namun, karena selisih nilai BMEP relatif kecil dan pola kenaikannya sejalan dengan Biosolar maupun Pertadex, B40 minyak nyamplung tetap menunjukkan kinerja pembakaran yang baik serta berpotensi sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel tanpa menyebabkan penurunan performa yang signifikan.

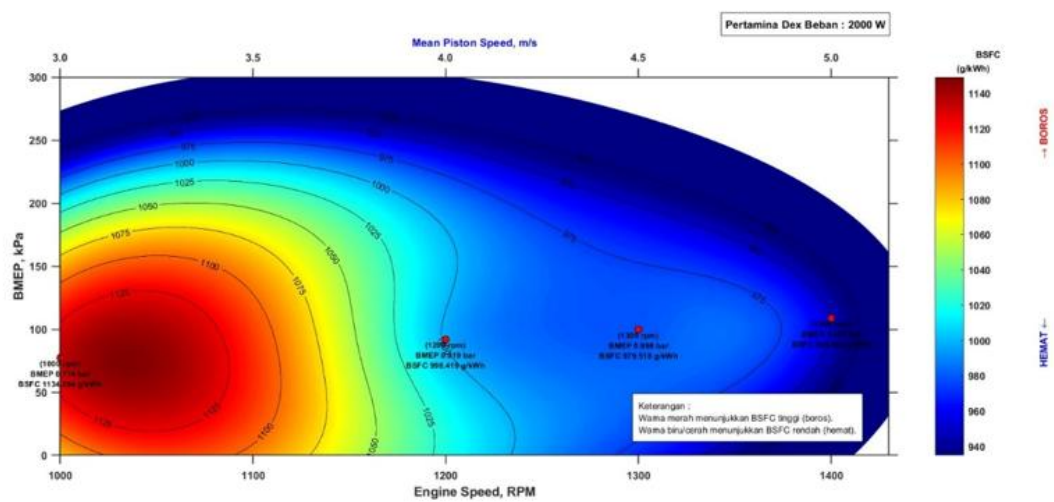
4.3 Analisis *Engine Diesel Fuel map*

Dengan menggunakan *Engine fuel map*, dapat diidentifikasi daerah operasi mesin yang paling efisien serta daerah yang kurang menguntungkan dari sisi konsumsi bahan bakar. peta kontur digambarkan dengan gradasi warna menunjukkan nilai BSFC yang tinggi (konsumsi bahan bakar lebih besar) hingga nilai BSFC yang rendah (konsumsi bahan bakar lebih hemat). *Engine fuelmap* ini menggunakan perangkat lunak Matlab berdasarkan hasil pengujian mesin diesel 4 langkah 1 silinder dengan variasi piston DSCS berbahan bakar Biosolar, Pertamina Dex, dan B40 Minyak Nyamplung.

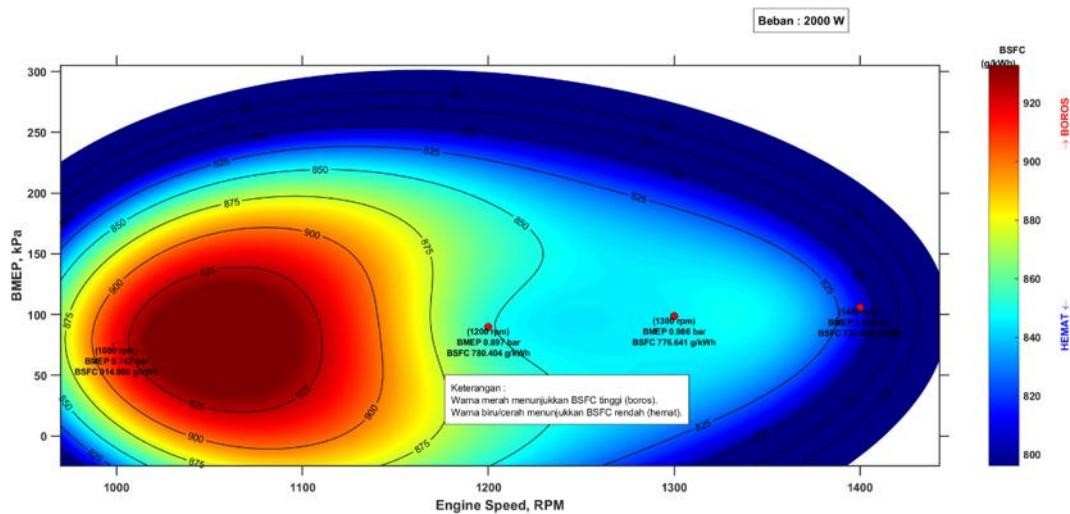
4.3.1 Analisis *Engine Diesel Fuel Map* Pada Beban 2000 W



Gambar 4. 24 *Engine Diesel Fuel map* Biosolar pada beban 2000 W



Gambar 4. 25 *Engine Diesel Fuel map* Pertamina Dex pada beban 2000 W



Gambar 4. 26 *Engine Diesel Fuel map* B40 Minyak Nyamplung pada beban 2000 W

Engine Diesel Fuel Map pada beban 2000 W menunjukkan distribusi nilai *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) terhadap putaran mesin dan *Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) untuk Biosolar, Pertamina Dex, dan B40 minyak biji nyamplung. Pada peta kontur tersebut, warna merah menunjukkan daerah dengan nilai BSFC tinggi atau konsumsi bahan bakar yang lebih boros, sedangkan warna biru menunjukkan daerah dengan nilai BSFC rendah atau konsumsi bahan bakar yang lebih hemat. Semakin luas daerah berwarna biru, semakin rendah nilai BSFC yang dihasilkan pada daerah operasi tersebut.

Biosolar menunjukkan daerah berwarna merah dan oranye yang masih cukup luas pada putaran mesin 1000–1200 rpm. Nilai BSFC pada 1000 rpm sebesar 1234,96 g/kWh, kemudian menurun menjadi 1155,03 g/kWh pada 1200 rpm, 1095,08 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai 972,69 g/kWh pada 1400 rpm. Berdasarkan kontur tersebut, terlihat bahwa nilai BSFC terus mengalami penurunan seiring meningkatnya putaran mesin, sehingga daerah operasi yang lebih efisien mulai terbentuk pada putaran yang lebih tinggi.

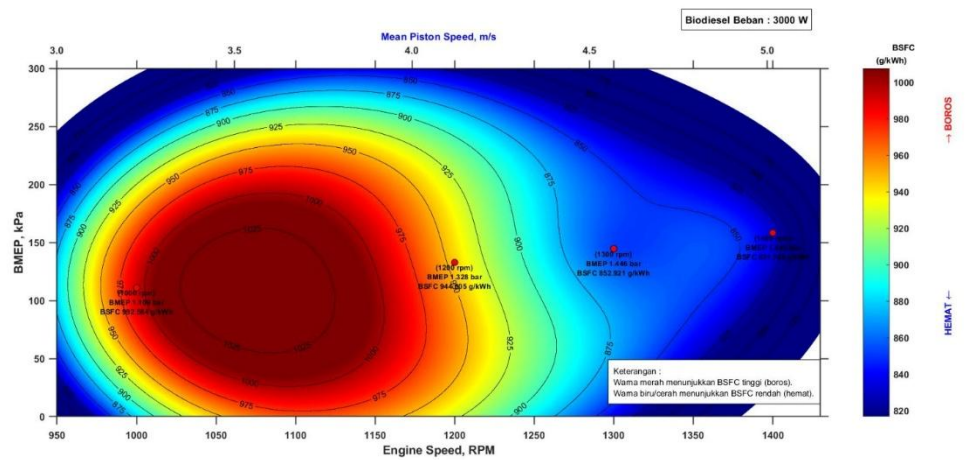
Pertamina Dex menunjukkan distribusi kontur yang lebih didominasi oleh warna hijau hingga biru dibandingkan Biosolar. Nilai BSFC mengalami penurunan dari 1136,34 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 984,41 g/kWh pada 1200 rpm, 976,19 g/kWh pada 1300 rpm, dan 947,30 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa nilai BSFC semakin kecil dengan bertambahnya putaran

mesin, serta daerah dengan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat menjadi semakin luas.

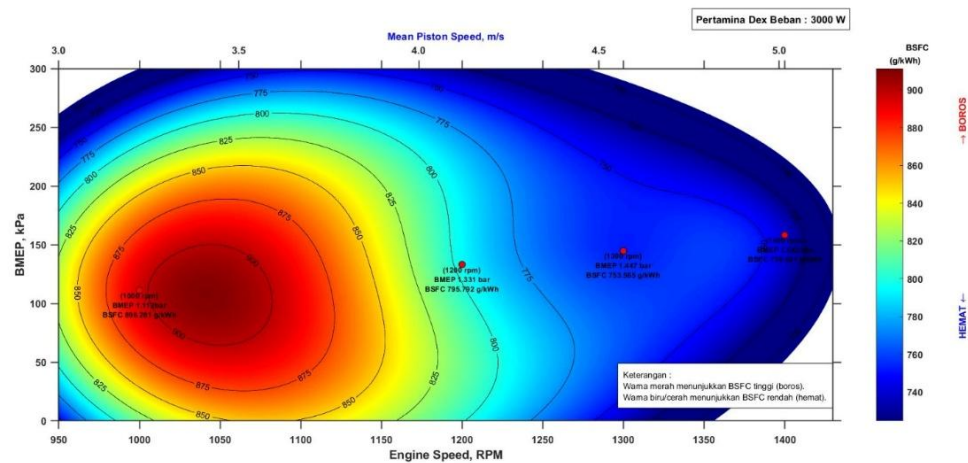
B40 minyak biji nyamplung memperlihatkan dominasi daerah berwarna biru pada rentang putaran menengah hingga tinggi. Nilai BSFC menurun dari 914,80 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 780,40 g/kWh pada 1200 rpm, 776,64 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai nilai terendah sebesar 720,69 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan BSFC pada setiap kenaikan putaran mesin terlihat lebih besar dibandingkan kedua bahan bakar lainnya, sehingga daerah operasi dengan konsumsi bahan bakar rendah menjadi lebih luas.

Secara keseluruhan, ketiga *Engine Diesel Fuel Map* menunjukkan pola yang sama, yaitu nilai BSFC cenderung menurun seiring meningkatnya putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm. Namun, besarnya penurunan BSFC berbeda pada setiap bahan bakar. Pada kondisi pengujian 2000 W, B40 minyak biji nyamplung menghasilkan nilai BSFC terendah sebesar 720,69 g/kWh, diikuti oleh Pertamina Dex sebesar 947,30 g/kWh, sedangkan Biosolar memiliki nilai BSFC terendah sebesar 972,69 g/kWh. Selain itu, daerah operasi dengan kontur berwarna biru pada B40 minyak biji nyamplung terlihat paling luas dibandingkan Pertamina Dex dan Biosolar, yang menunjukkan rentang operasi dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah.

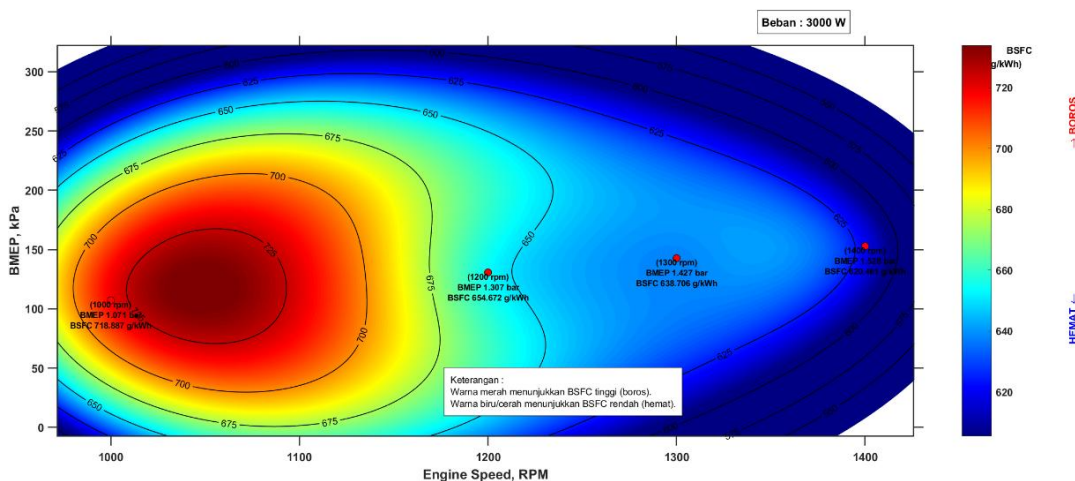
4.3.2 Analisis *Engine Diesel Fuel Map* Pada Beban 3000 W



Gambar 4. 27 *Engine Diesel Fuel map* Biosolar pada beban 3000 W



Gambar 4. 28 *Engine Diesel Fuel map* Pertamina Dex pada beban 3000 W



Gambar 4. 29 *Engine Diesel Fuel map* B40 Minyak Nyamplung pada beban 3000 W

Engine Diesel Fuel Map pada beban 3000 W menunjukkan hubungan antara putaran mesin (*Engine Speed*), *Brake Mean Effective Pressure (BMEP)*, dan *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* pada penggunaan Biosolar, Pertamina Dex, dan B40 minyak biji nyamplung. Peta kontur tersebut menggambarkan distribusi nilai *BSFC* pada setiap kombinasi putaran mesin dan *BMEP*, di mana warna merah menunjukkan daerah dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan daerah dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang rendah. Semakin luas daerah berwarna biru, maka semakin baik efisiensi penggunaan bahan bakar pada kondisi operasi tersebut.

Pada *fuel map* Biosolar, daerah dengan nilai *BSFC* tinggi masih mendominasi pada putaran rendah hingga menengah, yaitu sekitar 1000–1200 rpm. Nilai *BSFC* mengalami penurunan dari 981,89 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 946,96 g/kWh pada 1200 rpm, kemudian turun menjadi 852,91 g/kWh pada 1300 rpm dan mencapai nilai terendah sebesar 820,67 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan putaran mesin diikuti dengan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik, sehingga efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi lebih baik pada putaran yang lebih tinggi. Namun demikian, daerah dengan nilai *BSFC* tinggi masih cukup luas sehingga menunjukkan bahwa Biosolar memiliki daerah operasi efisien yang lebih terbatas dibandingkan bahan bakar lainnya.

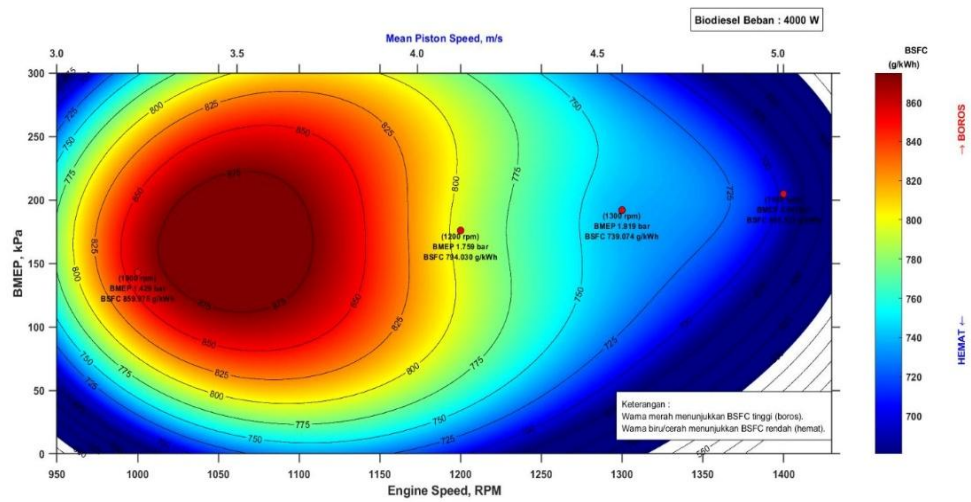
Pada *fuel map* Pertamina Dex, distribusi daerah dengan nilai *BSFC* rendah

terlihat lebih luas dibandingkan Biosolar. Nilai *BSFC* menurun dari 881,29 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 795,92 g/kWh pada 1200 rpm, 753,85 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai 729,87 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik terus berkurang seiring meningkatnya putaran mesin. Selain itu, luas daerah berwarna biru yang lebih besar dibandingkan Biosolar menunjukkan bahwa Pertamina Dex memiliki rentang operasi yang lebih efisien pada beban 3000 W.

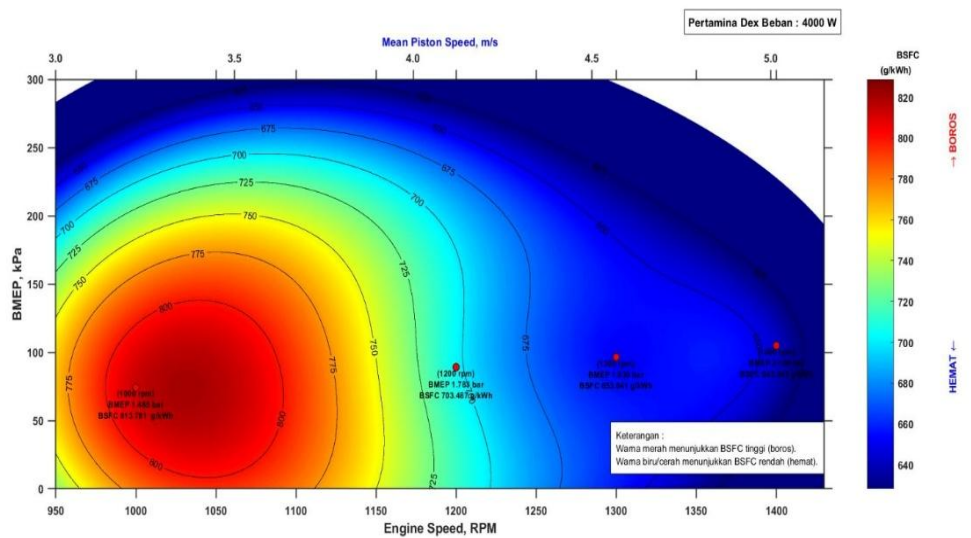
Sementara itu, *fuel map* B40 minyak biji nyamplung menunjukkan daerah dengan nilai *BSFC* rendah yang paling dominan dibandingkan Biosolar maupun Pertamina Dex. Nilai *BSFC* menurun dari 718,89 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 654,67 g/kWh pada 1200 rpm, kemudian 633,71 g/kWh pada 1300 rpm dan mencapai nilai minimum sebesar 615,40 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan *BSFC* yang terjadi pada setiap kenaikan putaran mesin menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar semakin meningkat. Selain itu, daerah operasi dengan nilai *BSFC* rendah tampak lebih luas dibandingkan kedua bahan bakar lainnya, yang mengindikasikan bahwa B40 minyak biji nyamplung mampu mempertahankan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah pada berbagai kondisi operasi mesin.

Secara keseluruhan, hasil *Engine Diesel Fuel Map* pada beban 3000 W menunjukkan adanya perbedaan nilai *BSFC* pada ketiga bahan bakar yang diuji. Biosolar memiliki daerah operasi dengan nilai *BSFC* tinggi yang paling luas, sedangkan Pertamina Dex menunjukkan daerah operasi efisien yang lebih besar. B40 minyak biji nyamplung memberikan hasil terbaik dengan dominasi daerah berwarna biru dan nilai *BSFC* terendah sebesar 615,40 g/kWh pada putaran 1400 rpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, pada kondisi pengujian beban 3000 W, penggunaan B40 minyak biji nyamplung menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah dibandingkan Biosolar dan Pertamina Dex, sehingga memiliki efisiensi penggunaan bahan bakar yang paling baik pada rentang putaran mesin yang diuji.

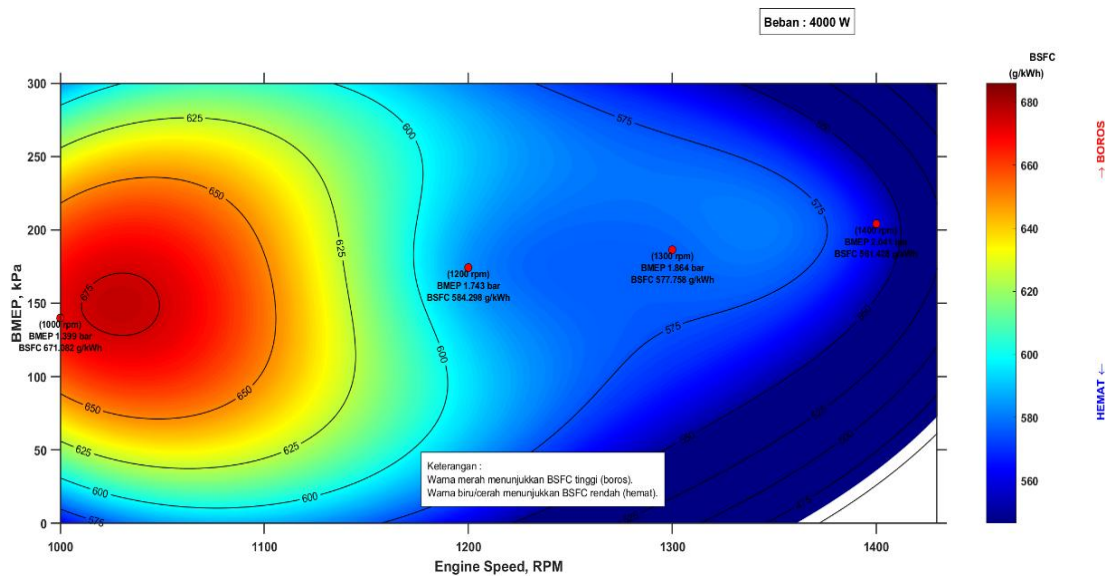
4.3.3 Analisis *Engine Diesel Fuel Map* Pada Beban 4000 W



Gambar 4. 30 *Engine Diesel Fuel map* Biosolar pada beban 4000 W



Gambar 4. 31 *Engine Diesel Fuel map* Pertamina Dex pada beban 4000 W



Gambar 4. 32 *Engine Diesel Fuel map* B40 Minyak Nyamplung pada beban 4000 W

Engine Diesel Fuel Map pada beban 4000 W menunjukkan distribusi nilai *Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)* terhadap *Brake Mean Effective Pressure (BMEP)* dan putaran mesin (*Engine Speed*) pada penggunaan Biosolar, Pertamina Dex, dan B40 minyak biji nyamplung. Peta kontur ini digunakan untuk mengidentifikasi daerah operasi mesin yang memiliki tingkat efisiensi penggunaan bahan bakar pada berbagai kondisi pengujian. Pada kontur tersebut, warna merah menunjukkan daerah dengan nilai *BSFC* yang tinggi sehingga mengindikasikan konsumsi bahan bakar yang lebih besar, sedangkan warna biru menunjukkan daerah dengan nilai *BSFC* yang rendah yang menandakan kondisi operasi mesin lebih efisien. Dengan demikian, semakin luas daerah berwarna biru pada *fuel map*, semakin baik efisiensi penggunaan bahan bakar pada kondisi operasi tersebut.

Pada *fuel map* Biosolar, nilai *BSFC* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Nilai *BSFC* tercatat sebesar 857,95 g/kWh pada putaran 1000 rpm, kemudian menurun menjadi 744,03 g/kWh pada 1200 rpm, 709,04 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai nilai terendah sebesar 690,26 g/kWh pada 1400 rpm. Penurunan nilai *BSFC* tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar meningkat pada putaran mesin yang lebih tinggi. Namun, distribusi kontur masih didominasi oleh daerah berwarna merah hingga kuning sehingga menunjukkan bahwa rentang operasi dengan konsumsi bahan bakar

rendah masih relatif terbatas.

Pada *Engine fuel map* Pertamina Dex, distribusi daerah dengan nilai *BSFC* rendah terlihat lebih luas dibandingkan Biosolar. Nilai *BSFC* menurun dari 817,91 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 703,43 g/kWh pada 1200 rpm, kemudian 683,39 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai 663,36 g/kWh pada 1400 rpm. Dibandingkan Biosolar, Pertamina Dex menghasilkan nilai *BSFC* yang lebih rendah pada setiap variasi putaran mesin. Selain itu, kontur berwarna biru yang lebih dominan menunjukkan bahwa daerah operasi dengan efisiensi penggunaan bahan bakar yang tinggi menjadi lebih luas.

Sementara itu, *Engine fuel map* B40 minyak biji nyamplung menunjukkan distribusi daerah berwarna biru yang paling dominan di antara ketiga bahan bakar yang diuji. Nilai *BSFC* menurun dari 710,32 g/kWh pada 1000 rpm menjadi 584,30 g/kWh pada 1200 rpm, kemudian 577,76 g/kWh pada 1300 rpm, dan mencapai nilai minimum sebesar 561,43 g/kWh pada 1400 rpm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa B40 minyak biji nyamplung menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah pada seluruh variasi putaran mesin. Selain itu, daerah operasi dengan nilai *BSFC* rendah terlihat lebih luas dibandingkan Biosolar maupun Pertamina Dex, yang menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar pada beban 4000 W lebih baik dibandingkan kedua bahan bakar lainnya.

Secara keseluruhan, hasil *Engine Diesel Fuel Map* pada beban 4000 W menunjukkan bahwa nilai *BSFC* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya putaran mesin pada ketiga bahan bakar yang diuji. Kondisi ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar meningkat pada putaran mesin yang lebih tinggi. Jika dibandingkan dengan hasil *fuel map* pada beban 2000 W dan 3000 W, daerah operasi dengan nilai *BSFC* rendah pada beban 4000 W terlihat lebih luas dan menghasilkan nilai *BSFC* yang lebih kecil. Kondisi operasi yang paling optimal selama pengujian diperoleh pada beban 4000 W dengan putaran mesin 1400 rpm, karena menghasilkan nilai *BSFC* terendah pada ketiga bahan bakar, yaitu 690,26 g/kWh untuk Biosolar, 663,36 g/kWh untuk Pertamina Dex, dan 561,43 g/kWh untuk B40 minyak biji nyamplung. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi

beban dan putaran tersebut, mesin mencapai efisiensi penggunaan bahan bakar yang paling baik dibandingkan seluruh kondisi pengujian yang telah dilakukan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis unjuk kerja mesin diesel 4 langkah dengan piston *Double Swirl Combustion System* (DSCS) menggunakan bahan bakar Biodiesel B40 minyak nyamplung, Biosolar, dan Pertamina Dex, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian karakteristik bahan bakar B40 minyak nyamplung menunjukkan nilai titik nyala sebesar 93°C, densitas sebesar 850–851 kg/m³, viskositas sebesar 3,38–3,46 cSt, angka setana sebesar 42,4, dan nilai kalor sebesar 49.071 kJ/kg. Hasil pengujian tersebut menunjukkan karakteristik fisik dan kimia B40 minyak nyamplung yang digunakan sebagai bahan bakar dalam pengujian unjuk kerja mesin diesel berpiston *Double Swirl Combustion System* (DSCS).
2. Hasil pengujian unjuk kerja menunjukkan bahwa peningkatan putaran mesin dari 1000 rpm hingga 1400 rpm pada setiap pembebanan menyebabkan daya, torsi, dan Brake Mean Effective Pressure (BMEP) mengalami peningkatan, sedangkan Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) mengalami penurunan. Pertamina Dex menghasilkan daya, torsi, dan BMEP tertinggi pada sebagian besar kondisi pengujian. Sementara itu, Biodiesel B40 minyak nyamplung menghasilkan nilai BSFC yang lebih rendah dibandingkan Biosolar dan Pertamina Dex pada seluruh variasi pembebanan sehingga menunjukkan efisiensi konsumsi bahan bakar yang lebih baik, meskipun nilai daya dan torsinya sedikit lebih rendah dibandingkan Pertamina Dex.
3. Berdasarkan analisis diesel engine fuel map, daerah operasi paling efisien ditunjukkan oleh Biodiesel B40 minyak nyamplung. Pada pembebanan 2000 W, 3000 W, dan 4000 W, daerah dengan nilai BSFC terendah berada pada putaran mesin sekitar 1300–1400 rpm dengan nilai BMEP yang lebih

tinggi dibandingkan putaran rendah. Nilai BSFC terendah yang diperoleh adalah sekitar 720,689 g/kWh pada beban 2000 W, 620,461 g/kWh pada beban 3000 W, dan 561,429 g/kWh pada beban 4000 W. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Biodiesel B40 minyak nyamplung merupakan bahan bakar yang paling efisien berdasarkan analisis diesel engine fuel map pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi putaran mesin yang lebih banyak sehingga daerah kontur pada diesel engine fuel map menjadi lebih representatif dan mampu menggambarkan daerah operasi mesin secara lebih rinci.
2. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan hasil unjuk dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)
3. Perlu dilakukan penelitian menggunakan variasi campuran biodiesel yang berbeda, seperti B20, B30, B50, atau B100 minyak nyamplung, sehingga dapat diketahui komposisi campuran yang memberikan keseimbangan terbaik antara unjuk kerja mesin dan efisiensi konsumsi bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Yani. (2022). 35-Article Text-65-1-10-20230102-1. *Analisis Putaran Mesin Diesel 16 Silinder Menggunakan Alat Dynamometer Terhadap Torsi Mesin, Daya Mesin Dan Komsumsi Bahan Bakar*, 2(10), 162–174.
- Attallasyah, T., Firmansyah, M. R., Al Kafy, M. N., Suhartian, M. R., Harisandi, N., Alsyahrani, G. M., & Alfarizy, I. (2024). Karakterisasi untuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Menggunakan Gas Hasil Gasifikasi dan Minyak Solar. *Jurnal Majemuk*, 3(1), 104–123.
- Christina, N., Sungadi, E., Hindarso, H., Kurniawan, Y., Kimia, J. T., Teknik, F., Katolik, U., & Mandala, W. (2011). *PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK NYAMPLUNG DENGAN Pendahuluan*. 26–35.
- Fadly, E. R. (2021). *Jurnal Voering Vol. 6 No. 1 Juli 2021*. 6(1), 33–38.
- Farisi, M. H. Al. (2025). *ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF 2-EHN (2- ETHYLHEXYL NITRATE) PADA PERFORMA FOUR STROKE DIESEL ENGINE MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR MULTI- FEEDSTOCK BIODIESEL (MINYAK KELAPA SAWIT , MINYAK*.
- Farizy, A. Y. (2025). *ABYYU_YA_FA_42_08 (1).pdf*.
- Handayani et al. (2020). *KARAKTERISASI SIFAT FISIKO KIMIA MINYAK NYAMPLUNG SEBAGAI BAHAN BAKU SABUN PADAT TRANSPARAN*. 15(4), 411–415. <https://doi.org/10.29303/jpm.v15i4.1328>
- Indah Kurniasari. (2025). *STUDI KOMPARASI MODIFIKASI PISTON DIRECT SWIRL COMBUSTION SYSTEM (DSCS) PADA MOTOR DIESEL EMPAT LANGKAH SATU SILINDER MENGGUNAKAN VARIASI BAHAN BAKAR SOLAR STUDI KOMPARASI MODIFIKASI PISTON DIRECT SWIRL COMBUSTION SYSTEM (DSCS) PADA MOTOR DIESEL*.
- Kumar, P., Bhandari, A., & Chaturvedi, S. K. (2019). Design and thermal analysis of ic engine piston design using catia and ansys software. *International Journal of Mechanical Engineering*, 6(10), 12–19. <https://doi.org/10.14445/23488360/ijme-v6i10p103>
- Linzi Yan,Jinyan Ma,Jing Li, S. B. (2017). *Internal Combustion Engine & Parts* . 139 . 139–142.

- Rudi Hartono et al. (2021). *JURNAL INTEGRASI PROSES Website : <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip> BIODIESEL DARI MINYAK BIJI NYAMPLUNG SECARA ESTERIFIKASI-TRANSESTERIFIKASI* Jln . Jendral Sudirman Km . 3 Cilegon 42435 , Indonesia Jln . Jendral Sudirman Km . 3 Cilegon 42435 , In. 10(1), 53–56.
- Semin, S., Iswantoro, A., & Faris, F. (2017). Performance and NOx Investigation on Diesel Engine using Cold EGR Spiral Tube: A Review. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 1(3), 213–220. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v1i3.2372>
- Shah, H., Ranpura, U., Sheth, K., Harshit Bhavsar, M., & Scholars, R. (2017). Failure of Piston & Piston pin in IC Engine: A Review. *International Journal of Scientific Development and Research*, 2(3), 284–286. www.ijedr.org284
- SHIMMAMAH, S. N. C. (2017). *Karakterisasi unjuk kerja mesin diesel generator set sistem dual fuel biodiesel minyak sawit dan syngas dengan penambahan preheating sebagai pemanas bahan bakar*. 3–4.
- Silviana, S., Anggoro, D. D., Hadiyanto, H., Salsabila, C. A., Aprilio, K., Utami, A. W., Sa'adah, A. N., & Dalanta, F. (2022). A Review on the Recent Breakthrough Methods and Influential Parameters in the Biodiesel Synthesis and Purification. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(4), 1012–1036. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.43147>
- Steckelberg, D. (2017). *Development of an internal combustion engine fuel map model based on on- board acquisition* DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING – POLYTECHNIC SCHOOL DEVELOPMENT OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUEL MAP MODEL BASED ON ON-BOARD ACQUISITION São Paulo. January.
- Sudradjat, R., & Setiawan, D. (2007). Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung (The Manufacture of Biodiesel from Nyamplung Seed). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 41–56.
- Suleman, N., Abas, & Paputungan, M. (2019). Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik*, 17(1), 66–77. <https://doi.org/10.37031/jt.v17i1.54>
- Supriyatna, D. (2023). *Analysis of Power Efficiency Generated by Generator Work*

Systems on AC and DC Dynamos : A Literature Review Analisis Efisiensi Daya Yang Dihasilkan Sistem Kerja Generator Pada Dinamo AC Dan DC : Sebuah Tinjauan Literatur. 261–268.

Sutanto, W., Zaki, M., & Akhdan Nadhif Maulana. (2024). Pengaruh Alat Bantu Kalibrasi Stopwatch Menggunakan Metode Totalize terhadap Waktu Reaksi Operator. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(2), 340–349. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i2.5529>

Tunggal, T. P., Kirana, L. A., Arfianto, A. Z., Helmy, E. T., & Waseel, F. (2020). Design of contact and non-contact tachometer using microcontroller. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 1(3), 65–69. <https://doi.org/10.18196/jrc.1315>

Wahyudi, W., Nadjib, M., & Apriyanto, A. (2023). Correlation between Physical Properties and Specific Fuel Consumption in Jatropha -Used Cooking Oil Biodiesel Mixtures. *Semesta Teknika*, 26(2), 148–158. <https://doi.org/10.18196/st.v26i2.20163>

Wirawan, S. S., Solikhah, M. D., Setiaprja, H., & Sugiyono, A. (2024). Biodiesel implementation in Indonesia : Experiences and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189(PA), 113911. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113911>

Yufitriani Littik. (2022). Analisa Performansi Mesin Diesel MAK 8M453 Tipe 4 Langkah dengan Daya Terpasang 2500 kW. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 1(4), 53–63. <https://doi.org/10.55606/juprit.v1i4.630>

Zaka, D. (2025). *STUDI KOMPARASI UNJUK KERJA DSCS (DOUBLE SWIRL COMBUSTION SYSTEM) PISTON CHAMBER DAN FLAT PISTON CHAMBER PADA MOTOR DIESEL 4 LANGKAH 1 SILINDER.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil uji lab karakteristik

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM) FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM KIMIA Jalan Semanang 5, Malang 65145 Telp. 0341-551312 Laman: www.um.ac.id	FPO 5.10-1																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">FORMULIR</td> <td>Tgl. Terbit / Revisi : 18 Mei 2026</td> </tr> <tr> <td>JUDUL</td> <td>Halaman : 1-1</td> </tr> <tr> <td>LAPORAN HASIL PENGUJIAN</td> <td>File : Mochammad Afifi</td> </tr> </table>			FORMULIR	Tgl. Terbit / Revisi : 18 Mei 2026	JUDUL	Halaman : 1-1	LAPORAN HASIL PENGUJIAN	File : Mochammad Afifi																	
FORMULIR	Tgl. Terbit / Revisi : 18 Mei 2026																								
JUDUL	Halaman : 1-1																								
LAPORAN HASIL PENGUJIAN	File : Mochammad Afifi																								
Nomor : 071/UN.32.7.3/LT/2025 Nama Pemilik : Mochammad Afifi Instansi : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) Jenis Contoh : Cair Metode Uji : Bomb Kalorimeter Tanggal terima sampel : 05 Mei 2026 Tanggal Uji Sampel : 18 Mei 2026 Hasil Pengujian : Nilai Kalor																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">No</th> <th style="width: 40%;">Kode Sampel</th> <th style="width: 20%;">Nilai Kalor (kal/gram)</th> <th style="width: 35%;">Keterangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>B40 Minyak Biji Nyamplung (1)</td> <td>11.912,655</td> <td rowspan="6">• Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>B40 Minyak Biji Nyamplung (2)</td> <td>11.544,107</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>B50 Minyak Biji Nyamplung (1)</td> <td>11.599,135</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>B50 Minyak Biji Nyamplung (2)</td> <td>11.808,148</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>B100 Minyak Biji Nyamplung (1)</td> <td>10.544,946</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>B100 Minyak Biji Nyamplung (2)</td> <td>10.809,976</td> </tr> </tbody> </table>			No	Kode Sampel	Nilai Kalor (kal/gram)	Keterangan	1	B40 Minyak Biji Nyamplung (1)	11.912,655	• Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji	2	B40 Minyak Biji Nyamplung (2)	11.544,107	3	B50 Minyak Biji Nyamplung (1)	11.599,135	4	B50 Minyak Biji Nyamplung (2)	11.808,148	5	B100 Minyak Biji Nyamplung (1)	10.544,946	6	B100 Minyak Biji Nyamplung (2)	10.809,976
No	Kode Sampel	Nilai Kalor (kal/gram)	Keterangan																						
1	B40 Minyak Biji Nyamplung (1)	11.912,655	• Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji																						
2	B40 Minyak Biji Nyamplung (2)	11.544,107																							
3	B50 Minyak Biji Nyamplung (1)	11.599,135																							
4	B50 Minyak Biji Nyamplung (2)	11.808,148																							
5	B100 Minyak Biji Nyamplung (1)	10.544,946																							
6	B100 Minyak Biji Nyamplung (2)	10.809,976																							
Malang, 18 Mei 2026 Menyetujui, an Dekan Kepala Laboratorium Kimia,  Dr. Nazriati, M.Si NIP. 196709231998022001																									

Lampiran 2 Hasil Uji Lab karakteristik Biodiesel Minyak Nyamplung.



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
DIREKTORAT KERJASAMA DAN PENGELOLAAN USAHA (DKPU)
LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN
Gedung Research Center Lt. 5, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5944792; Ext. 1113; Fax. (031) 5996670; Hp: 081331078833
Website: www.its.ac.id/dkpu, Email: lab.energi.lingkungan.its@gmail.com

LAPORAN HASIL PENGUJIAN No: 194/LHP/LEL-ITS/VI/2026

Nama Pemilik : Muhammad Fikri Choiri Abadi
Alamat Pemilik : GG. KH. MURTADJI
Nama Contoh : Biodiesel minyak nyamplung
Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas
Volume : -
Kemasan : Botol
Kode Contoh : 260603-001-015
Tanggal Terima : 03 Juni 2025
Tanggal Pengujian : 04 Juni 2025
Tanggal Selesai Pengujian : 04 Juni 2025
Jumlah Contoh : 3

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Biodiesel minyak nyamplung B40	Cetane Number	42,4	-	IKA LEL-ITS OA (Cetane Analyzer)*
2	Biodiesel minyak nyamplung B50		45,5		
3	Biodiesel minyak nyamplung B100		0,0		

Suhu : 23,4 °C
Humidity : 51 %
Analisis : DPS

Catatan:

- Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
- Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
- Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 23 Juni 2026
Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan ITS



Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197801152003121002

Koordinator Teknis

Vita Yuliana, S.Si.
NPP. 1990201822404

Lampiran 3 Hasil Uji Lab karakteristik B40



POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
DIREKTORAT KERJASAMA DAN PENGELOLAAN USAHA (DKPU)
LABORATORIUM KIMIA
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111
Telp. (031) 5947186, Website: ppns.ac.id , Email: humas@ppns.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No:

Nama Pemilik : Mochammad Arief Al Ilham
Alamat Pemilik : Mejoyo, Rungkut, Surabaya
Nama Contoh : B40 Minyak Nyamplung
Deskripsi Contoh : Bentuk : Padat/Cair/Gas
Volume : -
Kemasan : Botol kaca
Kode Contoh : -
Tanggal Terima : 28 April 2026
Tanggal Pengujian: 29 April 2026
Tanggal Selesai : 2 Mei 2026
Pengujian : 28-30 April 2026
Jumlah Contoh : 1 sampel

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Kimia PPNS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	B40 Minyak Nyamplung	Density	851	Kg/m ³	ASTM D4052
		Viscosity	3,43	cSt	ASTM D445
		Flash Point	93	°C	ASTM D93

Suhu : 22°C
Humidity : -
Analisis : -

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 2 Mei 2026
Koordinator Teknis


Fitria Harnum, A.Md.
NIP. 198406292019032014

Lampiran 4 sertifikat karakteristik minyak nyamplung murni

USAHA MIKRO OBAT TRADISIONAL (UMOT)
DENING ALAM
JL. SUKA KARYA
KELURAHAN SERUA, KECAMATAN CIPUTAT
KOTA TANGERANG SELATAN

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Produk : Pure Tamanu Oil - Minyak Tamanu Murni
INCI : Calophyllum inophyllum
Metode Ekstraksi : Cold Pressed
Date of Analysis : November 3, 2020

No	Parameter	Unit	Test Result
1	Form	-	Liquid
2	Odor	-	Normal
3	Color	-	Green
4	Refractive Index	-	1,4798
5	Saponification Value	mgKOH / g	198,42
6	Linoleic Acid	%	30,79
7	Total Plate Count (TPC)	colony / g	<10
8	Staphylococcus Aureus	/ g	Negative
9	Pseudomonas Aeruginosa	/ g	Negative

Analysis by Sucofindo

Tangerang Selatan, 10 Juli 2022

Dening Alam



Dening Alam
Pure and Natural
Nazliah Laupa, S. Farm., Apt

Penanggung Jawab Teknis

Lampiran 5 Data hasil pengujian mesin diesel dengan piston DSCS berbahan bakar biosolar

Piston DSCS Biosolar				Pengujian 1		Pengujian 2		Hasil Rata rata	
No	RPM	Volume Bahan Bakar	Waktu	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
		ml	detik	v	I	v	I	v	I
Beban Lampu 2000 Watt									
1.	1000	25	80	117	1,33	118	1,33	118	1,33
				121	1,32	123	1,33	122	1,33
				130	2,48	130	2,48	130	2,48
2.	1100	25	61	91	1,43	94	1,45	93	1,44
				88	1,43	88	1,45	88	1,44
				147	2,63	148	2,68	148	2,66
3.	1200	25	58	148	1,54	148	1,54	148	1,54
				154	1,54	155	1,53	155	1,54
				165	2,84	165	2,87	165	2,86
4.	1300	25	52	163	1,63	164	1,61	164	1,62
				171	1,62	172	1,63	172	1,63
				182	3,03	188	3,00	185	3,02
5.	1400	25	49	180	1,70	181	1,70	181	1,70
				189	1,72	190	1,74	190	1,73
				201	3,19	202	3,22	202	3,21
Beban Lampu 3000 Watt									
1.	1000	25	67	116	2,49	124	2,48	120	2,49
				121	2,48	122	2,49	122	2,49
				135	2,54	135	2,54	135	2,54
2.	1100	25	55	85	2,64	85	2,66	85	2,64
				89	2,62	91	2,68	89	2,62
				153	2,73	153	2,74	153	2,73
3.	1200	25	49	151	2,83	154	2,86	151	2,83
				154	2,77	155	2,84	154	2,77
				171	2,93	172	2,94	171	2,93
4.	1300	25	46	169	3,02	170	3,01	170	3,02
				170	2,98	172	2,98	171	2,98
				187	3,08	187	3,10	187	3,09
5.	1400	25	40	186	3,19	189	3,19	188	3,19
				187	3,18	191	3,19	189	3,19
				207	3,27	210	3,30	209	3,29
Beban Lampu 4000 Watt									
1.	1000	25	60	115	3,74	116	3,75	116	3,75
				118	3,70	114	3,76	116	3,73

				135	2,55	137	2,60	136	2,58
2.	1100	25	51	76	4,02	76	4,05	76	4,04
				80	4,00	80	4,04	80	4,02
				158	2,77	158	2,81	158	2,79
3.	1200	25	44	147	4,31	153	4,30	150	4,31
				149	4,27	149	4,31	149	4,29
				173	2,92	174	2,96	174	2,94
4.	1300	25	40	166	4,55	172	4,54	169	4,55
				168	4,52	165	4,52	167	4,52
				191	3,15	191	3,14	191	3,15
5.	1400	25	37	186	4,76	183	4,79	185	4,78
				186	4,77	182	4,74	184	4,76
				206	3,29	208	3,29	207	3,29

Lampiran 6 data hasil pengujian mesin diesel dengan piston DSCS berbahan bakar Pertadex

Piston DSCS Pertadex				Pengujian 1		Pengujian 2		Hasil Rata rata	
No	RPM	Volume Bahan Bakar	Waktu	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
		ml	detik	v	I	v	I	v	I
Beban Lampu 2000 Watt									
1.	1000	25	84	114	1,29	118	1,33	116	1,31
				126	1,34	122	1,3	124	1,32
				128	2,52	132	2,46	130	2,49
2.	1100	25	70	92	1,39	90	1,43	91	1,41
				87	1,45	83	1,41	85	1,43
				149	2,66	153	2,62	151	2,64
3.	1200	25	67	147	1,49	145	1,53	146	1,51
				156	1,55	152	1,51	154	1,53
				166	2,79	170	2,85	168	2,82
4.	1300	25	58	167	1,65	165	1,61	166	1,63
				171	1,72	175	1,68	173	1,70
				191	3,05	187	3,01	189	3,03
5.	1400	25	51	180	1,73	184	1,69	182	1,71
				193	1,79	187	1,75	190	1,77
				200	3,16	204	3,22	202	3,19
Beban Lampu 3000 Watt									
1.	1000	25	74	120	2,41	124	2,47	122	2,44
				121	2,47	117	2,43	119	2,45
				132	2,5	136	2,56	134	2,53
2.	1100	25	65	88	2,6	86	2,66	87	2,63

				83	2,58	87	2,64	85	2,61
				156	2,69	152	2,73	154	2,71
3.	1200	25	58	149	2,83	153	2,77	151	2,80
				154	2,76	150	2,8	152	2,78
				168	2,91	172	2,87	170	2,89
4.	1300	25	52	173	3	167	2,96	170	2,98
				170	2,92	174	2,98	172	2,95
				187	3,11	183	3,07	185	3,09
5.	1400	25	45	182	3,21	188	3,15	185	3,18
				192	3,16	188	3,22	190	3,19
				205	3,28	209	3,22	207	3,25
Beban Lampu 4000 Watt									
1.	1000	25	61	117	3,69	121	3,75	119	3,72
				127	3,74	123	3,7	125	3,72
				138	2,54	142	2,6	140	2,57
2.	1100	25	53	81	3,96	79	4,02	80	3,99
				80	4,04	84	3,98	82	4,01
				158	2,72	162	2,78	160	2,75
3.	1200	25	49	158	4,32	154	4,26	156	4,29
				152	4,22	156	4,28	154	4,25
				176	2,91	180	2,95	178	2,93
4.	1300	25	45	174	4,54	168	4,48	171	4,51
				167	4,45	173	4,51	170	4,48
				196	3,13	192	3,07	194	3,10
5.	1400	25	39	189	4,76	193	4,82	191	4,79
				193	4,8	187	4,74	190	4,77
				216	3,24	220	3,3	218	3,27

Lampiran 7 Data hasil pengujian dengan piston DSCS berbahan bakar B40 minyak nyamplung.

Piston DSCS Nyamplung				Pengujian 1		Pengujian 2		Hasil Rata rata	
No	RPM	Volume Bahan Bakar	Waktu	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
		ml	detik	v	I	v	I	v	I
Beban Lampu 2000 Watt									
1.	1000	25	113	118	1,3	116	1,31	117	1,305
				125	1,34	118	1,38	121,5	1,36
				130	2,44	129	2,4	129,5	2,42
2.	1100	25	109	94	1,4	89	1,42	91,5	1,41
				84	1,44	86	1,45	85	1,445
				147	2,57	147	2,61	147	2,59

3.	1200	25	84	145	1,51	144	1,51	144,5	1,51
				153	1,54	153	1,55	153	1,545
				166	2,8	165	2,77	165,5	2,785
4.	1300	25	71	162	1,59	162	1,61	162	1,6
				173	1,64	172	1,69	172,5	1,665
				184	2,96	184	2,95	184	2,955
5.	1400	25	64	180	1,69	180	1,69	180	1,69
				190	1,74	190	1,73	190	1,735
				201	3,13	202	3,1	201,5	3,115
Beban Lampu 3000 Watt									
1.	1000	25	100	119	2,46	118	2,43	118,5	2,445
				121	2,44	120	2,41	120,5	2,425
				134	2,45	134	2,46	134	2,455
2.	1100	25	84	82	2,61	81	2,63	81,5	2,62
				88	2,6	84	2,58	86	2,59
				152	2,65	152	2,65	152	2,65
3.	1200	25	75	149	2,81	150	2,81	149,5	2,81
				154	2,79	154	2,79	154	2,79
				171	2,81	171	2,85	171	2,83
4.	1300	25	65	167	2,98	160	2,98	163,5	2,98
				173	2,97	179	2,97	176	2,97
				188	3,01	189	3,01	188,5	3,01
5.	1400	25	58	184	3,13	185	3,13	184,5	3,13
				189	3,12	187	3,12	188	3,12
				207	3,19	206	3,16	206,5	3,175
Beban Lampu 4000 Watt									
1.	1000	25	82	115	3,68	115	3,66	115	3,67
				117	3,69	117	3,67	117	3,68
				135	2,5	136	2,48	135,5	2,49
2.	1100	25	81	79	4,01	76	3,95	77,5	3,98
				83	3,99	79	3,95	81	3,97
				156	2,67	155	2,68	155,5	2,675
3.	1200	25	63	150	4,22	149	4,22	149,5	4,22
				150	4,21	153	4,2	151,5	4,205
				175	2,97	175	2,87	175	2,92
4.	1300	25	55	167	4,47	167	4,47	167	4,47
				166	4,46	166	4,45	166	4,455
				190	3,02	190	3,03	190	3,025
5.	1400	25	48	187	4,72	186	4,7	186,5	4,71
				185	4,72	185	4,72	185	4,72
				211	3,23	211	3,2	211	3,215

Lampiran 8 Hasil perhitungan dengan piston DSCS berbahan bakar Biosolar

Piston DSCS Bahan Bakar Biosolar							
No	Rpm	Volume Bahan Bakar	Daya	Torsi	FCR	BSFC	BMEP
		ml	Kw	Nm	gr/h	gr/kWh	bar
Beban 2000 W							
1.	1000	25	0,749	7,155	916,875	1224,266	0,753
2.	1100	25	0,762	6,619	1202,459	1577,976	0,696
3.	1200	25	1,095	8,717	1264,655	1155,026	0,917
4.	1300	25	1,288	9,467	1410,577	1095,076	0,996
5.	1400	25	1,498	10,221	1496,939	999,524	1,075
Beban 3000 W							
1.	1000	25	1,103	10,538	1094,776	992,584	1,109
2.	1100	25	1,024	8,891	1333,636	1302,751	0,936
3.	1200	25	1,585	12,617	1496,939	944,605	1,328
4.	1300	25	1,870	13,740	1594,565	852,921	1,446
5.	1400	25	2,205	15,046	1833,750	831,748	1,583
Beban 4000 W							
1.	1000	25	1,422	13,582	1222,500	859,975	1,429
2.	1100	25	1,250	10,860	1438,235	1150,233	1,143
3.	1200	25	2,099	16,716	1667,045	794,030	1,759
4.	1300	25	2,481	18,235	1833,750	739,074	1,919
5.	1400	25	2,850	19,451	1982,432	695,537	2,047

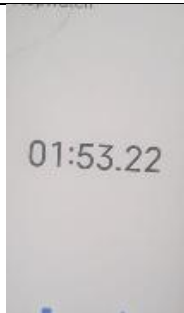
Lampiran 8 Hasil perhitungan dengan piston DSCS berbahan bakar Pertamina dex

Piston DSCS Bahan Bakar Pertamina dex							
No	Rpm	Volume Bahan Bakar	Daya	Torsi	FCR	BSFC	BMEP
		ml	Kw	Nm	gr/h	gr/kwh	bar
Beban 2000 W							
1	1000	25	0,770	7,355	867,857	1127,325	0,774
2	1100	25	0,768	6,666	1041,429	1356,892	0,701
3	1200	25	1,097	8,730	1088,060	992,293	0,919
4	1300	25	1,291	9,489	1256,897	973,509	0,998
5	1400	25	1,514	10,333	1429,412	944,037	1,087
Beban 3000 W							
1	1000	25	1,106	10,566	985,135	890,783	1,112
2	1100	25	1,024	8,898	1121,538	1094,791	0,936
3	1200	25	1,589	12,653	1256,897	790,910	1,331
4	1300	25	1,872	13,757	1401,923	748,962	1,447
5	1400	25	2,204	15,040	1620,000	735,083	1,582
Beban 4000 W							
1	1000	25	1,478	14,117	1195,082	808,788	1,485
2	1100	25	1,269	11,026	1375,472	1063,539	1,160
3	1200	25	2,128	16,942	1487,755	699,171	1,783
4	1300	25	2,496	18,344	1620,000	649,035	1,930
5	1400	25	2,924	19,954	1869,231	639,299	2,100

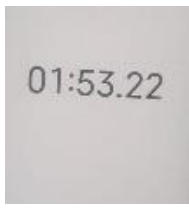
Lampiran 9 Hasil perhitungan dengan piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung

Piston DSCSBahan Bakar Minyak Nyamplung							
No	Rpm	Volume Bahan Bakar	Daya	Torsi	FCR	BSFC	BMEP
		ml	Kv	Nm	gr/h	gr/kWh	bar
Beban 2000 W							
1.	1000	25	0,738	7,055	677,788	917,939	0,742
2.	1100	25	0,740	6,426	702,661	949,736	0,676
3.	1200	25	1,071	8,525	911,786	851,533	0,897
4.	1300	25	1,275	9,370	1078,732	846,059	0,986
5.	1400	25	1,475	10,069	1196,719	811,079	1,059
Beban 3000 W							
1.	1000	25	1,065	10,179	765,900	718,887	1,071
2.	1100	25	0,961	8,524	911,786	929,096	0,897
3.	1200	25	1,560	12,419	1021,200	654,672	1,307
4.	1300	25	1,845	13,558	1178,308	638,706	1,427
5.	1400	25	2,128	14,524	1320,517	620,461	1,528
Beban 4000 W							
1.	1000	25	1,392	13,298	934,024	671,082	1,399
2.	1100	25	1,223	10,626	945,556	772,910	1,118
3.	1200	25	2,081	16,566	1215,714	584,298	1,743
4.	1300	25	2,410	17,714	1392,545	577,758	1,864
5.	1400	25	2,842	19,395	1595,625	561,428	2,041

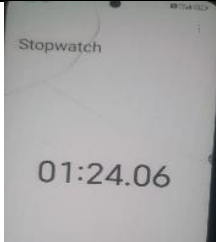
Lampiran 10 Dokumentasi proses piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung Beban 2000 rpm 1000 (Pengujian 1)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

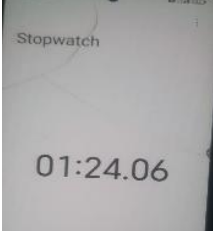
Lampiran 11 Dokumentasi proses piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung Beban 2000 rpm 1000 (Pengujian 2)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

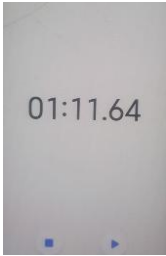
Lampiran 12 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1200 (Pengujian 1)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

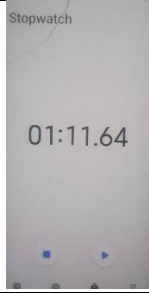
Lampiran 13 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1200 (Pengujian 2)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

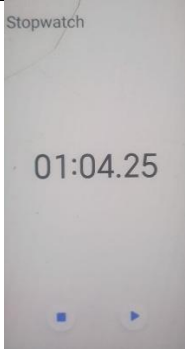
Lampiran 14 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1300 (Pengujian 1)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

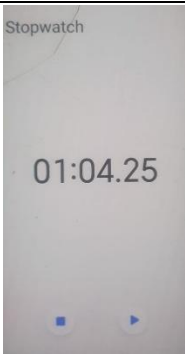
Lampiran 15 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1300 (Pengujian 2)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

Lampiran 16 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1400 (pengujian 1)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

Lampiran 17 Dokumentasi proses pengujian piston DSCS berbahan bakar B40 Minyak Nyamplung beban 2000 rpm 1400 (pengujian 2)

		
Arus 1	Arus 2	Arus 3
		
Pengukuran RPM	Data tegangan dari kanan ke kiri	Waktu laju bahan bakar

BIODATA PENULIS



Penulis, Rasendriya Sava Reswara, lahir di Surakarta pada 31 Mei 2003. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN Kedunglumbu, Surakarta, yang ditempuh pada tahun 2012 - 2017. Setelah menyelesaikan pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 10 Surakarta, pada tahun 2017 - 2019. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Al-Islam 1 Surakarta, pada tahun 2019 – 2021. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), pada Program Studi D4 Teknik Sebagai bagian dari proses pembelajaran dan pengembangan kompetensi di bidang teknik perkapalan, penulis melaksanakan kegiatan *On The Job Training* (OJT) di PT Yasa Wahana Tirta Samudera pada bagian Departemen *Project New Building*. Penulis memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan untuk pengembangan diri maupun karya di masa mendatang.

Email : savareswararasendriya@gmail.com

Instagram : [@rasendriyasava](https://www.instagram.com/@rasendriyasava)