

**ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK DAUN NILAM
TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL 4 LANGKAH (HATZ DIESEL)
DENGAN VARIASI KOMPOSISI B10, B20, B50**

SKRIPSI

Oleh

**A. ANGGORO ADJI
NPM 2115021036**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK DAUN NILAM
TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL 4 LANGKAH (HATZ DIESEL)
DENGAN VARIASI KOMPOSISI B10, B20, B50**

Oleh

A. ANGGORO ADJI

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK DAUN NILAM TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL 4 LANGKAH (HATZ DIESEL) DENGAN VARIASI KOMPOSISI B10, B20, B50

Oleh

A. ANGGORO ADJI

Biodiesel adalah ester asam lemak yang berasal dari minyak nabati atau hewani melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi dan digunakan sebagai bahan bakar diesel. Penggunaan energi alternatif biodiesel minyak nilam ini diharapkan nantinya dapat mengatasi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi campuran bahan bakar pertadex dan biodiesel terhadap prestasi mesin dan mesin diesel 4 langkah. Penelitian ini menggunakan variasi bahan bakar pertadex, B10, B20 dan B50 pada putaran mesin 1.100 rpm, 2.000 rpm dan 3.000 rpm dengan variasi bukaan katup beban laju aliran beban dinamometer 0,5 dan 1 putaran. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin, Universitas Lampung dengan menggunakan alat uji prestasi mesin yaitu mesin diesel HATZ. Berdasarkan data dari hasil pengujian, diperoleh campuran terbaik adalah B20 mendekati efisiensi pertadex dengan kenaikan BSFC hanya 2–10%. B10 paling boros dengan BSFC (3,56 kg/kWh di 1100 rpm) dikarenakan kandungan biodesel terlalu rendah.

Kata kunci: Pertadex – biodiesel, biodesel minyak nilam, prestasi mesin.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE USE OF PATCHOULI LEAF OIL BIODIESEL ON PERFORMANCE OF 4-STROKE DIESEL ENGINE (HATZ DIESEL) WITH COMPOSITION VARIATION OF B10, B20, B50

By

A. Anggoro Adj

Biodiesel is a fatty acid ester derived from vegetable or animal oils through a transesterification or esterification reaction and is used as diesel fuel. The use of alternative energy from patchouli oil biodiesel is expected to overcome dependence on fossil fuel use. This study aims to determine the effect of variations in pertadex and biodiesel fuel mixtures on the performance of engines and 4-stroke diesel engines. This study used variations of pertadex, B10, B20 and B50 fuels at engine rotations of 1,100 rpm, 2,000 rpm and 3,000 rpm with variations of load valve openings of dynamometer load flow rate of 0.5 and 1 revolution. This research was conducted at the Engine Engineering Combustion Engine Laboratory, University of Lampung using an engine performance test tool, namely the HATZ diesel engine. Based on the data from the test results, the best mixture was B20 close to the efficiency of pertadex with an increase in BSFC of only 2–10% at 3000 rpm. B10 is the most wasteful with very high BSFC (3.56 kg/kWh at 1100 rpm).

Keywords: *Pertadex – biodiesel, patchouli oil biodiesel, machine performance*

Judul Skripsi : Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Daun
Nilam Terhadap Kinerja Mesin Diesel 4
Langkah (Hatz Diesel) Dengan Variasi
Komposisi B10, B20, B50

Nama Mahasiswa : A. Anggoro Adji

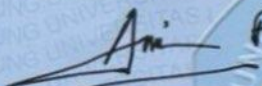
No. Pokok Mahasiswa : 2115021036

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Komisi Pembimbing

Pembimbing 1


Ir. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

NIP. 197607152008121002

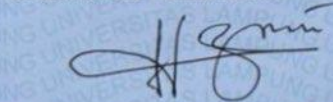
Pembimbing 2


Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM., ASEAN Eng.

NIP. 198010012008121001

Mengetahui

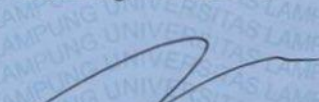
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Ir. Gusri Akhvar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197108171998021003

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

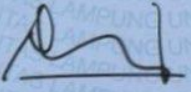
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

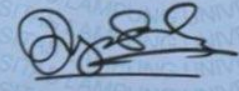
Ketua Penguji : **Ir. A. Yudi Elka Risano, S.T., M.Eng.**



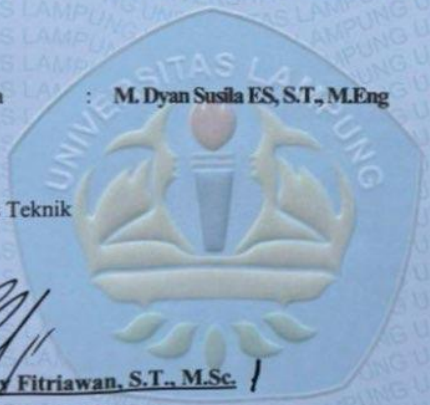
Anggota Penguji : **Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM, ASEAN Eng.**



Penguji Utama : **M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002



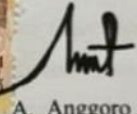
Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 06 Oktober 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul "**Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Daun Nilam Terhadap Kinerja Mesin Diesel 4 Langkah (Hatz Diesel) Dengan Variasi Komposisi B10, B20, B50**" ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Peraturan Rektor no. 13 tahun 2019.

Bandar Lampung, 13 Oktober 2025
Yang Menyatakan,




A. Anggoro Adji
NPM.2115021036

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di OKU Timur, (Sumatera Selatan) pada tanggal 29 April 2003 merupakan putra semata wayang dari Bapak Sumarji dengan Ibu Sumartini. Penulis beralamat di Jl. Paku Sengkunyit, Desa Sungai Binjai, Kelurahan Veteran Jaya, Kecamatan Martapura, Kabupaten OKU Timur, Provinsi Sumatera Selatan. Penulis mengawali pendidikan di TK RA AT TARBIYATUL AULAD (2008), SD Negeri 04 Martapura (2009-2015), MTS Negeri 1 OKU Timur (2015-2018), SMA Negeri 2 Martapura (2018-2021), Universitas Lampung (2021-sekarang). Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur UTBK-SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai bidang minat dan bakat divisi kreativitas periode 2022/2023 dan periode 2023/2024. Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa/Kelurahan Ramsai, Kecamatan Way Tuba, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung pada awal Januari – Februari 2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Laju Perdana Indah Oku Timur, Sumatera Selatan pada Juli – Agustus 2024, dengan topik **“Analisis Pengikisan Pipa Superheater Boiler di PT. Laju Perdana Indah Pabrik Gula Komerling OKU Timur”**. Penulis melakukan penelitian di bidang Konversi Energi dengan judul **“Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Daun Nilam Terhadap Kinerja Mesin Diesel 4 Langkah Dengan Variasi Komposisi B10, B20, B50”**. Dibawah bimbingan Bapak Ir. A. Yudi Eka R., S.T., M.Eng dan Bapak Ir. Herry Wardono., S.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng. Serta Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng sebagai pembahas.

MOTTO

“Sesungguhnya Bersama Kesulitan Ada Kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah:5)

“Hidup Yang Tidak Dipertaruhkan Tidak Akan Dimenangkan”

~Sutan Sjahrir~

PERSEMBAHAN

Dengan Menyebut Nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang Segala puji bagi Allah Subhanahuwata'ala, Dzat Yang Maha Sempurna. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Uswatun Hasanah Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wassalam. Teriring doa, rasa syukur, dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Bapakku (Sumarji) dan Ibuku (Sumartini)

Yang telah mendidiku, membesarkanku, merawatku, dan selalu mencintaiku dengan penuh kasih sayang, terimakasih untuk segala doa dan pengorbanan yang telah diberikan selama ini, kalian adalah motivasi terbesar untuk bertahan sampai sekarang dan aku berjanji akan membahagiakan kalian. Terima kasih banyak, dan teruslah berumur panjang.

Para Pendidik (Dosen dan Guruku)

Yang memberikan ilmu yang bermanfaat, memberikan bimbingan dan pengajaran serta pengalaman baik dalam bangku pendidikan maupun dalam kehidupan sehari-hari. Terima kasih banyak atas jasa-jasamu.

Almamater Universitas Lampung Tercinta.

SANWACANA

Puji Syukur saya ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Daun Nilam Terhadap Kinerja Mesin Diesel 4 Langkah (Hatz Diesel) Dengan Variasi Komposisi B10, B20, B50” dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Penulis sejatinya menyadari akan kekurangan atau keterbatasan, pengetahuan, pengalaman dan kemampuan yang Penulis miliki. namun terlepas dari itu, Penulis memiliki harapan agar tulisan ini dapat bermanfaat bagi berbagai macam pihak dan dapat memberi sumbangan pemikiran bagi bidang akademis dan bidang lainnya, melalui kesempatan ini pula Penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih atas kritikan, saran, bimbingan, serta petunjuk-petunjuk dari semua pihak yang sangat penulis harapkan guna kelengkapan dan penyempurnaan Skripsi ini.

Penulis tidak akan berhasil dengan baik tanpa ada bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik Universitas Lampung.

5. Prof. Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Bapak Ir. A. Yudi Eka R., S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ir. Herry Wardono., S.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberi kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya serta telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan serta membantu segala permasalahan akademik yang dialami penulis.
9. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
10. Ibu Shirley S, S.T., M.Met., Ph.D. selaku pembimbing akademik saya yang telah membimbing saya dari awal perkuliahan.
11. Kedua orang tersayang Bapak dan Ibu (Sumarji & Sumartini) yang selalu memberikan nasehat, motivasi dan doa yang tak terbatas serta selalu mendukung penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
12. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu bersedia membantu penyelesain segala berkas yang diperlukan.
13. Teknisi Laboratorium Mas Agus Sriono, S.T. yang telah membantu penulis pada saat penelitian di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi.
14. Imroatus Solichah yang selalu mensupport saya di dalam perkuliahan dan membantu dalam pembuatan skripsi ini
15. Geng grup “Angel” (Vikky, Bayu, Gembul, Falah, Robert, Adi, Prima, Tegar, Ilham, Wahyu) sahabat seperjuangan yang telah siap sedia menjadi teman, sahabat serta keluarga penulis sejak maba, yang selalu siap menghibur dan membantu penulis dalam proses perkuliahan sampai penyelesain Tugas Akhir ini.

16. *Engine Squad* Motor Bakar yang terdiri dari Vasco, Rafiansyah, Raihan, Vikky yang telah membantu dan bersedia direpotkan, memberikan kritik dan saran serta mensupport penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
17. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2021.

Penulis sangat bersyukur karena telah diberikan orang-orang yang membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dan berdoa semoga Allah SWT membalas kebbaikannya serta selalu diberkati dan dilindungi oleh-Nya. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, dan sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Bandar Lampung, 13 Oktober 2025

Penulis,



A. Anggoro Adji

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Bakar	5
2.2 Biodiesel	5
2.3 Biodiesel dan Solar	8
2.4 Minyak Nilam	15
2.5 Transesterifikasi	16
2.6 Mesin Diesel	17
2.6.1 Mesin Diesel Empat Langkah	17
2.7 Parameter Prestasi Mesin	20
2.7.1 Torsi dan Daya	20
2.7.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	21

2.7.3 Efisiensi Total Mesin.....	21
III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.1.1 Waktu Penelitian	22
3.1.2 Tempat Penelitian.....	22
3.2 Alat Dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan.....	25
3.3 Metode Penelitian	26
3.3.1 Tahap Pengujian Pada Mesin Diesel	29
3.4 Analisis Data.....	31
3.5 Diagram Alir Pengujian	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Data Hasil Penelitian.....	34
4.2 Pembahasan Prestasi Mesin	38
4.2.1 Perbandingan penggunaan bahan bakar pertadex dan campuran biodiesel terhadap daya engkol pada beban bukaan katup	39
4.2.2 Perbandingan penggunaan bahan bakar pertadex dan campuran biodiesel terhadap torsi pada beban bukaan katup	41
4.2.3 Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Pertadex dan Campuran Biodiesel terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik pada Beban Bukaan Katup	44
V. SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Simpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah.....	17
2.2 Diagram P-V Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah	19
3.1 Mesin Diesel	24
3.2 Unit Instrumen VDAS	24
3.3 <i>Software Tecquipment</i> VDAS.....	25
3.4 Pertadex	25
3.5 Biodiesel Minyak Nilam.....	26
3.6 Tahap Reaksi Transesterifikasi.....	27
3.7 Tahap Pemisahan Produk	28
3.8 Tahap Pemurnian Biodiesel.....	28
3.9 Proses Pengeringan dengan Pemanasan Ringan.....	29
3.10 Diagram Alir Unjuk Kerja Mesin Diesel.....	33
4.1 Perbandingan Daya Engkol terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 0,5 Putaran	39
4.2 Perbandingan Daya Engkol terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 1 Putaran	40
4.3 Perbandingan Torsi terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 0,5 Putaran	42
4.4 Perbandingan Torsi terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 1 Putaran	43
4.5 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 0,5 Putaran.....	44
4.6 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik terhadap Putaran Mesin pada Buka-an Katup 1 Putaran.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015	7
3.1 Spesifikasi Mesin Diesel	23
4.1 Data hasil penelitian kandungan minyak nilam	35
4.2 Data hasil pengujian pada putaran mesin 1100 rpm	36
4.3 Data hasil pengujian pada putaran mesin 2000 rpm	36
4.4 Data hasil pengujian beban dinamometer 3000 rpm.....	37

DAFTAR NOTASI

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
P	Daya	Watt (W)
N	Putaran Mesin	Revolusi Per menit (Rpm)
T	Torsi	Nanometer (Nm)
Bsfc	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	Kilogram Per kilowatt- jam (kg/kWh)
Mf	Laju Aliran Bahan Bakar	Kilogram Per Jam (kg/jam)
Vf	Volume Bahan Bakar	Liter (L)
Tf	Waktu Untuk Konsumsi Bahan Bakar Sebanyak vf	Detik (s)
Nt	Efisiensi Termal	%
W	Usaha Yang Dilakukan Mesin	KiloJoule (kJ)
Q	Energi Bahan Bakar Dalam Waktu Tertentu	KiloJoule (kJ)
LHV	Nilai Kalor Bawah Bahan Bakar	Kilojoule Per Kilogram (kJ/kg)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menipisnya cadangan minyak bumi membuat munculnya berbagai macam energi alternatif, salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel adalah ester asam lemak yang berasal dari minyak nabati atau hewani melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi dan digunakan sebagai bahan bakar diesel (Aziz, 2010). Pelaksanaan penggunaan serta pengembangan biofuel dalam mengurangi penggunaan BBM di Indonesia telah didukung dengan undang-undang tentang (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2021) Nomor 12 Tahun 2015 tentang pasokan, pemanfaatan dan sistem perdagangan biofuel. Dalam peraturan ini, pemerintah menentukan kewajiban minimal penggunaan biofuel (biosolar, bioetanol, dan minyak nabati murni) bagi sektor *Public Service Obligation* (PSO), seperti usaha mikro, usaha perikanan, usaha pertanian, transportasi, layanan publik, transportasi non PSO, industri dan komersial pembangkit listrik hingga tahun 2025 (Rusli, Ramadhan, Setiaprja, & Farobie, 2022).

Kebutuhan energi yang terus bertambah dan ketersediaan yang terbatas untuk bahan bakar minyak menjadi masalah yang tidak ada habisnya. Salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah dengan membuat bahan bakar alternatif berupa biodiesel. Penerapan biodiesel di lapangan ternyata membawa masalah baru, konsumen mengeluhkan kerusakan yang terjadi pada sistem bahan bakar kendaraan yang mengakibatkan emisi gas buang menjadi lebih buruk. Perlu segera dicarikan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut karena berpotensi menghasilkan masalah yang lebih besar (Salam, Fona, Satriananda, Putra, & Clauzia, 2021).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium dan pengujian terhadap mesin Diesel 4 langkah, tahap awal yang dilakukan,

yaitu menyiapkan minyak atsiri dari daun nilam sebagai pemanfaatan kekayaan alam Sumatera Selatan lebih tepatnya di Kabupaten Oku Selatan, kemudian dilakukan karakterisasi terhadap minyak Atsiri dengan melakukan pengukuran berat jenis pada 15°C, titik nyala, titik kabut, kandungan fame, korosi bilah tembaga dan bilangan asam total. Selanjutnya, membuat campuran dengan B10, B20, dan B50. Setelah itu dilakukan pengujian terhadap mesin diesel 4 langkah.

Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil akan menyebabkan cadangan minyak dunia semakin menipis. Terbukti dengan naiknya harga BBM di Indonesia yang berarti ketersediaan minyak bumi semakin menipis. Bahan bakar minyak (BBM) merupakan kebutuhan energi global terbesar yang konsumsinya diperkirakan oleh Energy Information Administration (bagian dari Departemen Energi AS) akan meningkat 57% dari tahun 2002 hingga 2025. Ketersediaannya yang terbatas serta meningkatnya kebutuhan masyarakat akan bahan bakar cair jelas menjadi permasalahan yang mulai menjadi signifikan. Untuk mengatasi pemanfaatan limbah fosil yang berlebihan, peneliti menggunakan bahan alternatif, yaitu biodiesel yang berasal dari minyak nabati (Suardi, Hidayat, & Ramadan, 2019).

Upaya pengembangan biodiesel mendesak dilakukan antara lain untuk mengurangi beban masyarakat akibat mahalnya harga bahan bakar dan pasokan yang tidak menentu, terutama pada wilayah terpencil. Manfaat dari biodiesel sendiri juga dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil, menurunkan polusi udara dengan menciptakan energi hijau (*green fuel*) yang ramah lingkungan dan tentu saja energi ini tersedia di alam serta dapat diperbaharui. Tujuan pembuatan campuran bahan bakar adalah selain bahan yang mudah didapat, biodiesel tidak merusak lingkungan sekitar (Okvitarini, Hidayah, Satriadi, & Widayat, 2013).

Berdasarkan dari pernyataan dan penelitian terdahulu, maka penulis akan melakukan penelitian mengenai “Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Daun Nilam Terhadap Kinerja Mesin Diesel 4 Langkah (HATZ Diesel) dengan Variasi Komposisi B10, B20, B50”.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dampak penggunaan biodiesel minyak daun nilam terhadap performa mesin Diesel, termasuk daya, torsi serta konsumsi bahan bakar.
2. Mengetahui pengaruh penambahan minyak daun nilam sebagai bioaditif terhadap sifat fisika dan kimia bahan bakar.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan biodiesel berbahan dasar minyak daun nilam terhadap performa mesin diesel 4 langkah, terutama dalam hal daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar?
2. Bagaimana karakteristik sifat fisika dan kimia minyak daun nilam sebagai bioaditif?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian kinerja prestasi mesin menggunakan Mesin Diesel 4 langkah HATZ.
2. Beberapa faktor analisa pengaruh biodiesel terhadap kinerja mesin secara keseluruhan seperti daya, torsi serta konsumsi bahan bakar.
3. Variasi pengujian dengan menggunakan pertadex murni, biodiesel B10, biodiesel B20 dan biodiesel B50.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang permasalahan sumber daya energi fosil, pemanfaatan biodiesel, pengembangan minyak nabati, penggunaan minyak nilam, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang dilakukan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II menjabarkan tentang landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan mengenai motor bakar, biodiesel, biodiesel dan pertadex, minyak nilam, transesterifikasi, mesin diesel, dan parameter prestasi mesin.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi tentang metode yang dilakukan penulis dalam mengumpulkan informasi, tempat serta waktu pelaksanaan penelitian dan juga menerangkan langkah sistematis yang penulis lakukan dalam melaksanakan penelitian ini.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV menjelaskan tentang data hasil pengujian yang sudah dilakukan serta pembahasan dari hasil data yang sudah didapatkan saat proses penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V menjabarkan kesimpulan serta saran yang diberikan oleh penulis dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber dan literatur yang digunakan oleh penulis sebagai referensi dalam melakukan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis. Sebelum menjadi tenaga mekanis, energi kimia bahan bakar diubah dulu menjadi energi termal atau panas melalui pembakaran bahan bakar dengan udara. Pembakaran ini ada yang dilakukan di dalam mesin kalor itu sendiri dan ada pula yang dilakukan di luar mesin kalor dan siklus otto pada mesin bensin disebut juga dengan siklus volume konstan, ketika pembakaran terjadi pada saat volume konstan (Aprizal, 2016). Ditinjau dari cara memperoleh energi termal, mesin kalor ini dibagi dalam 2 golongan yaitu :

- a) Mesin pembakaran luar (*external combustion engine*). Ketika terjadi pembakaran di luar mesin, energi thermal, dan gas hasil pembakaran dipindahkan ke fluida kerja mesin melalui beberapa dinding pemisah, seperti mesin uap, ketel uap, dan lain-lain.
- b) Mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Dimana terjadinya pembakaran yaitu di dalam mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida, seperti motor bensin dan diesel (Reza, 2022).

2.2 Biodiesel

Biodiesel/biosolar didefinisikan sebagai metil ester yang diproduksi dari minyak nabati atau hewan dan memenuhi kualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar di dalam mesin Diesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang diformulasikan khusus untuk mesin diesel dengan berbagai kelebihan. Biodiesel dapat digunakan secara murni maupun dicampur dengan bahan bakar minyak solar diesel fosil. *American Society for Testing and*

Materials (ASTM) internasional sebuah lembaga yang menentukan standar spesifikasi biodiesel mendefinisikan biodiesel sebagai campuran dari bahan bakar biodiesel dengan bahan bakar diesel fosil minyak solar. Oleh karena itu biodiesel campuran biasanya disebut dengan singkatan BXX, ketika XX mewakili volume (dalam persen) atas campuran bahan bakar biodiesel. Misalnya: campuran dari 80% bahan bakar diesel fosil dan 20% bahan bakar biodiesel disebut dengan B20. Sedangkan, bahan bakar yang sepenuhnya murni berisi biodiesel disebut dengan B100 (Cakrawardana, 2021).

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan sebagai bahan bakar alternatif (Kementerian Negara Riset dan Teknologi 2006 dalam Sjahrul Bustaman, 2009). Pertama, angka cetane tinggi (>50). Makin tinggi bilangan cetane, makin cepat pembakaran dan makin baik efisiensi termodinamisnya. Kedua, titik kilatnya tinggi, yakni suhu terendah yang dapat menyebabkan uap biodiesel menyala, sehingga biodiesel lebih aman dari bahaya kebakaran pada saat disimpan maupun didistribusikan dari pada solar. Ketiga, tidak mengandung sulfur dan benzena yang mempunyai sifat karsinogen, serta dapat diuraikan secara alami. Keempat, menambah pelumasan mesin yang lebih baik dari pada solar sehingga memperpanjang umur pemakaian mesin. Kelima, mudah dicampur dengan solar biasa dalam berbagai komposisi dan tidak memerlukan modifikasi mesin apapun. Keenam, mengurangi secara signifikan asap hitam dari gas buang mesin Diesel, walaupun penambahan biodiesel ke dalam solar hanya 5- 1)% (Devita, 2015).

Biodiesel tidak mengandung nitrogen atau senyawa aromatik dan hanya mengandung kurang dari 155 ppm (part per million) sulfur. Biodiesel mengandung 11% oksigen dalam persen berat yang keberadannya mengakibatkan berkurangnya kandungan energi namun menurunkan kadar emisi gas buang yang berupa karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), partikulat dan jelaga. Kandungan energi biodiesel 10% lebih rendah bila dibandingkan dengan solar, sedangkan efisiensi bahan bakar biodiesel lebih kurang dapat dikatakan sama dengan solar, yang berarti daya dan torsi yang dihasilkan proporsional dengan kandungan nilai kalor pembakarannya.

Kandungan asam lemak dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel menyebabkan bahan bakar biodiesel sedikit kurang stabil dibandingkan dengan solar, kestabilan yang tidak stabil dapat meningkatkan kandungan asam lemak bebas, menaikkan viskositas, terbentuknya gums, dan terbentuknya sedimen yang dapat menyumbat saringan bahan bakar (Cahyati & Pujaningtyas, 2017).

Proses pencampuran dua jenis biodiesel dengan cara transesterifikasi harus memiliki standar mutu biodiesel, ini bertujuan untuk menjamin biodiesel yang telah diproduksi aman dan layak untuk dijadikan bahan bakar diesel, serta bebas gliserol, katalis, alkohol, dan asam lemak bebas sehingga menjadi produk yang sempurna. Berdasarkan (Nasional., 2015) melalui Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang syarat mutu biodiesel di Indonesia, yaitu SNI 7182-2015.

Tabel 2.1 Syarat Mutu Biodesel SNI 7182:2015

No	Parameter Uji	Satuan Min/Maks	Persyaratan
1.	Massa jenis pada 40°C	40°C kg/m ³	850-890
2.	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka setana	Min	51
4.	Titik Nyala	°C, min	100
5.	Titik Kabut	°C, maks	18
6.	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)	-	Nomor 1
7.	Residu karbon dalam percontohan asli atau dalam 10% ampas	% massa maks	0,05 0,3
8.	Air dan sedimen	% - volume, maks	0,05
9.	Temperatur destilasi 90%	°C, maks	360
10.	Abu tersulfatkan	% - massa, maks	0,02
11.	Belerang	mg/kg, maks	50

No	Parameter Uji	Satuan Min/Maks	Persyaratan
12.	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg – KOH/g, maks	0,5
14.	Gliserol bebas	% - massa, maks	0,02
15.	Gliserol total	% - massa, maks	0,24
16.	Kadar ester metil	% - massa, maks	96,5
17.	Angka iodium	% - massa (g – 12/100), maks	115
18.	Kestabilan oksidasi periode induksi metode racimat atau periode induksi metode petro okxi	Menit	480 36
19.	Monogliserida	% - massa, maks	0,8

Sumber : (Nasional., 2015)

2.3 Biodiesel dan Solar

Biodiesel memiliki sifat fisika dan kimia yang sangat mirip dengan solar dimana biodiesel memiliki sifat mudah terbakar dan dampak lingkungan yang lebih rendah daripada solar. Biodiesel mempunyai angka setana yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Kondisi tersebut sangat baik untuk meningkatkan pembakaran yang lebih sempurna dan menghasilkan performa yang lebih baik pada mesin diesel. Biodiesel memiliki viskositas 2 kali lebih besar dari minyak solar hal tersebut berpengaruh pada lubrisitas mesin. Biodiesel dapat dibuat dengan bahan nabati sehingga kandungan sulfur dan senyawa aromatikny jadi lebih rendah (Suryanto, 2025).

Secara kimia biodiesel termasuk dalam golongan mono alkil ester atau metil ester dengan panjang rantai karbon antara 12-20. Hal ini yang membedakannya dengan petroleum diesel (solar) yang komponen utamanya adalah hidrokarbon (Nasution, 2007). Biodiesel menghasilkan penurunan kinerja dan peningkatan konsumsi bahan bakar, dibandingkan dengan bahan bakar solar. Tetapi efisiensi termal mesin ketika biodiesel digunakan menunjukkan peningkatan

dan kadar emisi PM, HC, dan CO lebih rendah dibandingkan solar. Biodiesel adalah bahan bakar dengan sifat yang sangat mirip dengan solar. Kesamaan ini membuatnya kemungkinan penggunaan biodiesel sebagai bahan 26 bakar alternatif pada kendaraan bertenaga diesel, baik murni maupun dicampur dengan solar (Wahidmurni, 2017). Adapun pada penelitian ini menggunakan campuran pertadex, berikut spesifikasi pertadex dan penjelasan fungsi dari berbagai parameternya.

Spesifikasi Pertamina Dex (B0)

No.	PARAMETER	METODE UJI	UNIT	BATASAN MIN	BATASAN MAX
1	Angka Setana, atau Indeks Setana	ASTM D613 ASTM D4737	-	51 48	- -
2	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	ASTM D4052 atau ASTM D1298	kg/m ³	810	850
3	Viskositas (pada suhu 40 °C)	ASTM D445	mm ² /s	2,0	4,5
4	Kandungan Sulfur	ASTM D4294 atau ASTM D5453 atau ASTM D2622	% m/m	-	0,005
5	Distilasi : 90% Vol Penguapan	ASTM D86	°C	-	370
6	Titik Nyala	ASTM D93	°C	55	-
7	Titik Kabut, atau	ASTM D2500 atau ASTM D5773	°C	-	18
	Titik Tuang	ASTM D97 atau ASTM D5949	°C	-	18
8	Residu Karbon	ASTM D189 atau ASTM D4530	% m/m	-	0,1
9	Kandungan Air	ASTM D6304	mg/kg	-	280
10	Korosi Bilah Tembaga	ASTM D130	merit	-	Kelas 1
11	Kandungan Abu	ASTM D482 atau ISO EN6245	% m/m	-	0,01
12	Kandungan Sedimen	ASTM D473	% m/m	-	0,01
13	Bilangan Asam Kuat	ASTM D664	mg KOH/g	-	0
14	Bilangan Asam Total	ASTM D664	mg KOH/g	-	0,3
15	Kontaminasi Partikulat	D6217	mg/l	-	10
16	Penampilan Visual		-	Jernih & Terang	
17	Warna	ASTM D1500	No. ASTM	-	1,0
18	Lubricity (HFRR wear scar dia. @ 60 °C)	ASTM D6079	micron	-	460

<https://pertaminapatraniaga.com>

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
1	Angka Setana / Indeks Setana	D613 / D4737	-	≥51 / ≥48	Menentukan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri setelah diinjeksikan ke

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
					udara panas. Semakin tinggi nilainya, pembakaran lebih halus dan efisiensi meningkat.
2	Berat Jenis (pada 15 °C)	D4052 / D1298	kg/m ³	810 – 850	Menunjukkan massa jenis bahan bakar. Mempengaruhi jumlah energi per volume bahan bakar dan pengaturan sistem injeksi.
3	Viskositas (pada 40 °C)	D445	mm ² /s	2,0 – 4,5	Mengukur kekentalan bahan bakar. Terlalu tinggi → sulit diinjeksikan; terlalu rendah → pelumasan kurang baik pada pompa injeksi.

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
4	Kandungan Sulfur	D4294 / D5453 / D2622	% m/m	$\leq 0,005$	Menunjukkan kadar sulfur. Sulfur tinggi menyebabkan korosi, pembentukan SO _x , dan emisi berbahaya.
5	Distilasi (90% vol menguap)	D86	°C	≤ 370	Menggambarkan karakter penguapan bahan bakar. Menentukan kemudahan penguapan dan pembakaran sempurna.
6	Titik Nyala (Flash Point)	D93	°C	≥ 55	Suhu minimum bahan bakar menghasilkan uap yang dapat menyala. Parameter keamanan terhadap kebakaran dan penyimpanan.

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
7	Titik Kabut / Titik Tuang	D2500 / D5773 / D97 / D5949	°C	≤-18	Menentukan suhu di mana bahan bakar mulai mengeruh (kabut) atau berhenti mengalir (tuang). Penting untuk penggunaan di daerah dingin.
8	Residu Karbon	D189	% m/m	≤0,1	Menunjukkan potensi pembentukan jelaga/kerak pada ruang bakar setelah pembakaran. Nilai kecil berarti pembakaran lebih bersih.
9	Kandungan Air	D6304	mg/kg	≤280	Air dalam bahan bakar dapat menyebabkan korosi, pertumbuhan mikroba, dan

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
					kerusakan sistem injeksi.
10	Korosi Bilah Tembaga	D130	merit	Kelas 1	Menguji efek korosif bahan bakar terhadap logam tembaga. Kelas 1 artinya tidak korosif.
11	Kandungan Abu	D482 / ISO EN6245	% m/m	$\leq 0,01$	Menunjukkan kandungan bahan padat anorganik yang tersisa setelah pembakaran. Terlalu tinggi menyebabkan kerak pada injektor dan ruang bakar.
12	Kandungan Sedimen	D473 / D1796	% m/m	$\leq 0,01$	Partikel padat atau lumpur dalam bahan bakar. Jika tinggi dapat menyumbat filter dan sistem injeksi.
13	Bilangan Asam Kuat	D664	mg KOH/g	0 – 0,3	Mengukur keasaman kuat

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
					yang dapat menyebabkan korosi logam mesin.
14	Bilangan Asam Total	D664	mg KOH/g	0 – 0,3	Mengukur total keasaman (termasuk asam lemah). Mencerminkan tingkat degradasi dan oksidasi bahan bakar.
15	Kontaminasi Partikulat	D6217	mg/l	≤10	Menunjukkan partikel padat dalam bahan bakar. Nilai tinggi dapat merusak injektor dan mengurangi umur filter.
16	Penampilan Visual	-	-	Jernih & Terang	Pemeriksaan visual; bahan bakar harus jernih tanpa endapan atau kekeruhan.
17	Warna	D1500	No. ASTM	≤1,0	Warna menunjukkan

No	Parameter	Metode Uji (ASTM)	Satuan	Batasan (Min–Max)	Fungsi / Penjelasan
					kemurnian bahan bakar; warna lebih gelap menandakan oksidasi atau kontaminasi.
18	Lubricity (HFRR)	D6079	μm	≤460	Mengukur kemampuan pelumasan bahan bakar untuk melindungi pompa dan injektor dari keausan, terutama pada bahan bakar rendah sulfur.

2.4 Minyak Nilam

Penggunaan minyak atsiri, termasuk minyak nilam, sebagai bioaditif dalam bahan bakar solar menunjukkan bahwa penambahan minyak atsiri dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi. Minyak nilam dapat dijadikan tambahan ke Biosolar B20 beberapa parameter terpenaruh dengan signifikan di antaranya micro carbon Residue dan Angka Cetana (Salam, A. H., 2021).

Minyak nilam banyak digunakan dalam bidang industri wewangian dan kosmetik karena memiliki sifat sukar menguap dibandingkan dengan minyak atsiri lainnya, sukar tercuci, dapat larut dalam alkohol, dan dapat dicampur dengan minyak eteris lainnya. Oleh karena itu, minyak nilam dipakai sebagai fiksatif (pengikat bau/aroma) untuk industri parfum, kosmetik, industri makanan (untuk penambah rasa), pembuatan pestisida, kebutuhan farmasi (obat antiradang, anticendawan, antiseptik, antijerawat, antiinflamasi, antidepresi, antiflogistik, serta dekongestan), dan sebagai aromaterapi (Sukanto 2009).

2.5 Transesterifikasi

Transesterifikasi biodiesel adalah proses kimia untuk mengubah minyak nabati atau lemak hewani (trigliserida) menjadi biodiesel (metil ester atau etil ester asam lemak) dan gliserol melalui reaksi dengan alkohol (biasanya metanol atau etanol) menggunakan katalis (basa, asam, atau enzim). Suatu reaksi yang menghasilkan ester dimana salah satu pereaksinya juga merupakan senyawa ester. Jadi disini terjadi pemecahan senyawa trigliserida dan migrasi gugus alkil antara senyawa ester. Ester yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi ini disebut biodiesel (Aziz, Nurbayti, & Ulum, 2012).

Reaksi kimia transesterifikasi biodiesel :



Teknik produksi biodiesel yang dilakukan saat ini pada umumnya mengikuti rute yang pertama, yaitu transesterifikasi minyak dengan alkohol melalui katalis basa. Cara ini merupakan teknik yang paling ekonomis karena :

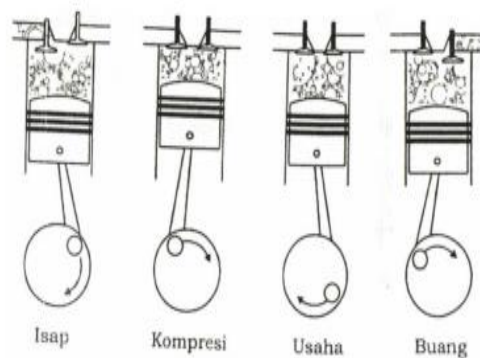
1. Proses memerlukan temperatur rendah
2. Tingkat konversi tinggi (mencapai 98%) dengan waktu reaksi yang cukup singkat dan hasil reaksi samping yang maksimal
3. Konversi langsung ke metil ester (biodiesel) tanpa melalui tahapan intermediet
4. Tidak diperlukan material dan kontruksi yang rumit

Transesterifikasi adalah reaksi pembentukan trigliserida, digliserida dan monogliserida yang termodifikasi ke dalam gliserol dengan menggunakan katalis basa (Marchetti et al, 2010). Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi reversible dan alcohol berlebih bergeser ke kesetimbangan menuju sisi produk. Semakin lama waktu transesterifikasi menyebabkan trigliserida minyak semakin banyak yang terkonversi menjadi metil ester. Hal ini disebabkan oleh jumlah trigliserida yang berkurang dan bereaksi dengan metanol membentuk asam lemak metil ester (Setiawati & Edwar, 2012).

2.6 Mesin Diesel

Mesin Diesel adalah suatu peralatan yang digerakan oleh suatu kekuatan atau tenaga yang dipergunakan untuk membantu manusia dalam mengerjakan produk atau bagian-bagian produk tertentu. Mesin Diesel sebagai penggerak utama harus bekerja secara optimal ketika bekerja. Mesin utama yang dimaksud dalam sistem pendingin disini adalah mesin diesel, dimana mesin Diesel terbagi menjadi 2 jenis yaitu mesin Diesel dua tak dan mesin diesel 4 tak (Hakim, Wibowo, & Astriawati, 2020).

2.6.1 Mesin Diesel Empat Langkah



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Prosesnya Udara saja (tanpa bahan bakar) dihisap ke dalam silinder. Udara dikompresi hingga tekanan $\pm 30\text{--}50$ bar dan suhu mencapai $500\text{--}700$ °C. Pada akhir kompresi, injektor menyemprotkan bahan bakar solar ke udara panas tersebut. Karena suhu udara sangat tinggi, bahan bakar langsung terbakar sendiri. Jadi tidak diperlukan busi untuk memicu

pembakaran. Komponen Pengganti Busi pada Mesin Diesel Sebagai gantinya, mesin diesel memakai Injektor bahan bakar untuk menyemprotkan solar dengan tekanan tinggi ke ruang bakar. *Glow plug* (busi pijar) bukan busi pengapian, melainkan elemen pemanas yang membantu menghangatkan udara di ruang bakar saat start dingin (*cold start*) agar pembakaran awal lebih mudah. Busi pengapian (*spark plug*) hanya di mesin bensin. *Glow plug* (busi pijar) hanya membantu start pada mesin diesel, tidak memicu percikan api. *Glow plug* (busi pijar) bisa dikatakan sebagai busi pemanas itu biasanya digunakan di mesin diesel modern untuk start pada kondisi mesin dingin.

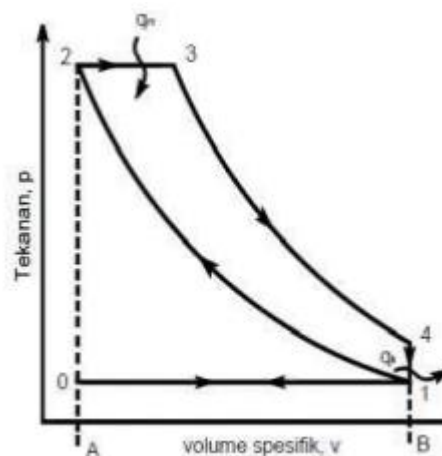
Cara kerja motor diesel 4 langkah sama dengan cara motor bensin 4 langkah yaitu dengan dua putaran atau 270° berturut - turut. Dalam silinder terdapat langkah isap, langkah kompresi, langkah usaha, dan langkah keluar (buang). Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Langkah I, Langkah Hisap. Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder.
- b. Langkah II, Langkah kompresi. Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) menekan udara yang ada dalam silinder. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan.
- c. Langkah III, Langkah kerja, Poros engkol terus berputar, beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA, injector (penyemprot bahan bakar) menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar (di atas torak / piston). Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi (150-300 atm) akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena adanya temperatur ruang bakar yang tinggi ($500 - 800^\circ\text{C}$). Pembakaran maksimal tidak terjadi langsung saat bahan bakar diinjeksikan, tetapi mengalami keterlambatan pembakaran (*ignition delay*). Dengan demikian meskipun saat injeksi terjadi sebelum TMA tetapi tekanan maksimum pembakaran tetap terjadi setelah TMA akibat adanya

keterlambatan pembakaran (*ignition delay*). Proses pembakaran ini akan menghasilkan tekanan balik kepada piston (torak) sehingga piston akan terdorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA sehingga bergerak dari TMA ke TMB. Gaya akibat tekanan pembakaran yang mendorong piston ke bawah diteruskan oleh batang piston (torak) untuk memutar poros engkol. Poros engkol inilah yang berfungsi sebagai pengubah gerak naik turun torak menjadi gerak putar yang menghasilkan tenaga putar pada motor diesel.

- d. Langkah IV, Langkah buang. Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA gas sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang lagi (Djafar, 2016)

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compressionignition engine* atau mesin diesel. Perbedaan antara siklus diesel dan Otto adalah penambahan panas pada tekanan tetap. Karena alasan ini siklus Diesel kadang disebut siklus tekanan tetap. Dalam diagram P-v, siklus diesel dapat digambarkan seperti berikut (Kurniawam, 2018)



Gambar 2.2 Diagram P-V Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Siklus ideal pada motor bakar torak digunakan untuk memudahkan dalam menganalisis Siklus ideal pada motor bakar torak digunakan untuk

memudahkan dalam menganalisis sistem motor bakar tersebut. Semakin ideal suatu keadaan suatu sistem semakin mudah sistem motor bakar tersebut. Semakin ideal suatu keadaan suatu sistem semakin mudah dianalisis, akan tetapi dengan sendirinya makin jauh menyimpang dari keadaan yang dianalisis, akan tetapi dengan sendirinya makin jauh menyimpang dari keadaan yang sebenarnya.

Di dalam analisis siklus udara, khususnya pada motor bakar torak, terdapat:

1. Siklus udara volume konstan (Siklus Otto)
2. Siklus udara tekanan konstan (siklus-Diesel)
3. Siklus udara tekanan terbatas (siklus gabungan)

Berikut adalah penjelasan dari grafik diagram P-V pada gambar 2.2 :

1. Langkah (0-1) adalah langkah hisap udara, pada tekanan konstan.
2. Langkah (1-2) adalah langkah kompresi, pada keadaan isentropik.
3. Langkah (2-3) adalah langkah pemasukan kalor, pada tekanan konstan
4. Langkah (3-4) adalah langkah ekspansi, pada keadaan isentropik.
5. Langkah (4-1) adalah langkah pengeluaran kalor, pada tekanan konstan.
6. Langkah (1-0) adalah langkah buang, pada tekanan konstan.

2.7 Parameter Prestasi Mesin

Parameter-parameter dalam menentukan karakteristik unjuk kerja mesin dapat dihitung menggunakan beberapa parameter. Dimana parameternya adalah sebagai berikut :

2.7.1 Torsi dan Daya

Penggunaan aplikasi pada di motor Diesel, didefinisikan sebagai momen akibat tekanan dari gerakan naik turun piston yang berputar pada sumbu poros engkolnya, sedangkan daya, didefinisikan sebagai kemampuan mesin dalam melakukan proses kerja untuk memindahkan atau menahan beban tiap satuan waktunya. Hubungan antara torsi dan daya sangat

berkaitan di dalam sebuah aktifitas mesin. Sebagaimana dapat dirumuskan dalam persamaan berikut (Suardi et al., 2019) :

$$P = \frac{\pi n}{60} \cdot T \dots\dots\dots(1)$$

2.7.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat diartikan sebagai jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin dalam setiap satuan daya yang dihasilkan untuk kurun waktu per 1 jam, dapat dinyatakan dalam satuan kg/kWh. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai SFC dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$SFC = \frac{mf}{P} \cdot 10^6 \dots\dots\dots(2)$$

Nilai dari aliran massa bahan bakar (mf) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$mf = \frac{P \cdot vf}{tf} \cdot 3600 \dots\dots\dots(3)$$

2.7.3 Efisiensi Total Mesin

Efisiensi total mesin merupakan perbandingan antara usaha yang dilakukan mesin dengan energi bahan bakar yang digunakan dalam jangka waktu tertentu. Secara sederhana dapat diartikan sebagai efisiensi pemanfaatan panas bahan bakar yang dikonversikan menjadi energi mekanik. Secara umum, rumus efisiensi total mesin adalah :

$$\eta_t = \frac{W}{Q} \dots\dots\dots(4)$$

Sementara itu energi bahan bakar dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = mf \cdot LHV \dots\dots\dots(5)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Mei sampai Agustus 2026.

3.1.2 Tempat Penelitian

Pengujian mesin Diesel dilakukan di Laboraturium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.2 Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan pada proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

a. Motor Diesel 4 Langkah Satu Silinder

Dalam pengambilan data menggunakan motor diesel 4 langkah 1 silinder yang ada di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung seperti pada Gambar 3.1 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel

DATA	SPESIFIKASI
Jenis	4 tak, 1 silinder
Dimensi	Lebar 400 mm, Tinggi 450 mm, kedalaman 350 mm
Jenis bahan bakar	Solar/Dexlite/Pertamina Dex
Tangki bahan bakar	Karamel / coklat muda – Baja dicat dengan ventilasi dan tutup pengisi
Saliran keluar knalpot	Nominalnya 1 “BSP
Sistem pengapian	Tidak ada – solar
Kekuatan Maksimum	3,5 kW pada 3000 putaran min-1
Diameter Silinder	69 mm
Radius Engkol	62 mm / 31 mm
Panjang Batang Penghubung	104 mm
Kapasitas mesin	232 cm ³ (0,232 L) atau 232 cc
Rasio kompresi	22 : 1
Jenis Minyak	Kelas Multigrade SAE 5 W – 40
Kapasitas Minyak	0,9 Liter (mesin standar)



Gambar 3.1 Mesin Diesel

b. Unit Instrumen VDAS

Unit Instrumen VDAS (*Versatile Data Acquisition System*) adalah sistem panel pelengkap yang digunakan pada mesin diesel untuk mendapatkan hasil dari pengukuran prestasi mesin seperti menentukan nilai torsi, daya engkol, konsumsi bahan bakar spesifik engkol, temperatur udara lingkungan, temperatur gas buang, tekanan diferensial pada airbox dan tekanan udara lingkungan. Unit Instrumen VDAS dihubungkan dengan mesin diesel dan data hasil dari pengujian bahan bakar tersebut secara otomatis ditampilkan pada layar yang terdapat pada panel tersebut. Unit instrument VDAS dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Unit Instrumen VDAS

c. *Software Tecquipment VDAS*

Software Tecquipment VDAS (Versatile Data Acquisition System) adalah *software* khusus yang dihubungkan ke unit instrumen VDAS, dimana fungsi dari *Software* tersebut, yaitu untuk menjalankan perintah program, kemudian menampilkan data hasil perhitungan parameter pada layer yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Software Tecquipment VDAS*

3.2.2 Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Pertadex*

Pertadex merupakan bahan bakar diesel. *Pertadex* yang digunakan merupakan *Pertadex* yang biasanya dijual pada pertamina.



Gambar 3.4 *Pertadex*

b. Biodiesel minyak nilam

Biodiesel Minyak Nilam merupakan bahan bakar alternatif yang digunakan pada pengujian.



Gambar 3.5 Biodiesel Minyak Nilam

3.3 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini dibagi menjadi beberapa langkah yaitu :

Adapun proses transesterifikasi biodiesel minyak nilam ini yang saya lakukan bersama aslab teknik kimia di Lab TRKI Politeknik Negeri Lampung sebagai berikut :

A. Bahan

1. Minyak nilam (Hasil ekstraksi melalui distilasi uap)
2. Metanol (CH_3OH), sebagai alkohol reaktan
3. Katalis basa, Natrium hidroksida (KOH)

B. Alat

3. Labu leher tiga
4. Hot plate dengan magnetic stirrer
5. Termometer
6. Kondensor
7. Corong pisah
8. Timbangan digital
9. Labu ukur
10. Pipet tetes

11. pH meter / kertas pH

C. Rasio dan komposisi Umum (per 100 mL minyak nilam)

Komponen	Jumlah
Minyak nilam	500 mL
Metanol	83 mL (mol rasio metanol:minyak = 6:1)
KOH	9,5 gr (sekitar 2% dari berat minyak)

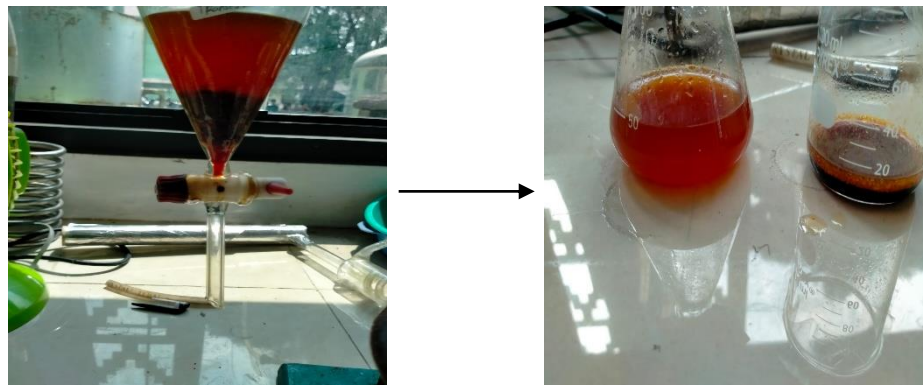
D. Prosedur transesterifikasi

- Tahap persiapan
 1. Larutkan katalis (KOH) dalam metanol hingga benar-benar larut → menghasilkan metoksida.
- Tahap Reaksi Transesterifikasi
 2. Panaskan minyak nilam hingga suhu $\pm 50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 3. Tambahkan metoksida ke dalam minyak nilam sambil diaduk menggunakan stirrer selama $\pm 1\text{--}2$ jam pada suhu konstan ($50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Menggunakan kondensor agar methanol tidak menguap.



Gambar 3.6 Tahap Reaksi Transesterifikasi

- Tahap Pemisahan Produk
 4. Diamkan campuran hasil reaksi selama $\pm 8-24$ jam di corong pisah atau tabung pemisah. Terjadi dua lapisan :
 - Lapisan atas : Biodiesel
 - Lapisan bawah : Gliserol dan sisa katalis//metanol)Pisahkan lapisan gliserol dari bawah, ambil lapisan atas (biodiesel mentah)



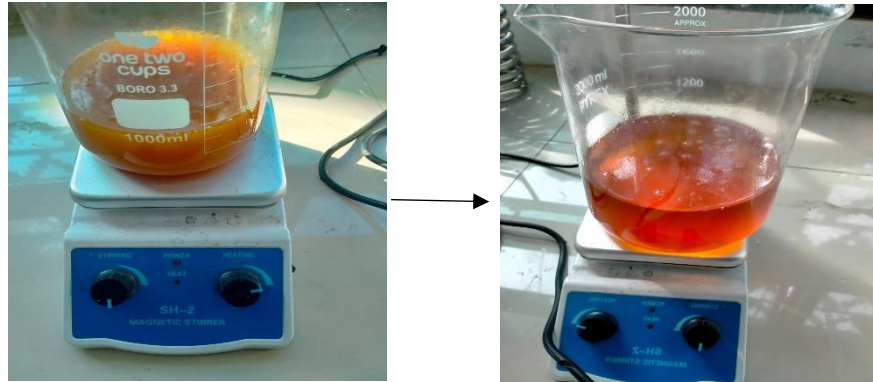
Gambar 3.7 Tahap Pemisahan Produk

- Tahap pemurnian biodiesel
 - Cuci biodiesel dengan air hangat ($30-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) secara perlahan untuk menghilangkan sisa metanol, katalis, dan sabun.
 - Lakukan pencucian beberapa kali hingga pH netral.



Gambar 3.8 Tahap Pemurnian Biodiesel

- Keringkan biodiesel dengan pemanasan ringan



Gambar 3.9 Proses Pengeringan dengan Pemanasan Ringan

3.3.1 Tahap Pengujian Pada Mesin Diesel

Adapun tahap pengujian pada mesin Diesel yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan mesin uji yaitu Tecquipment TD 200 dan unit instrument VDAS.
2. Membuka tangki bahan bakar dari panel VDAS untuk dibersihkan, lalu mengosongkan tangki bahan bakar tersebut hingga tidak terdapat sisa bahan bakar sebelumnya didalam tangki, setelah itu memasang kembali tangki tersebut ke panel VDAS.
3. Menggeser tungkai/tuas yang terdapat pada panel VDAS untuk volume bahan bakar 8 ml ke posisi on sehingga pengisian bahan bakar terisi secara otomatis ke panel VDAS.
4. Menghubungkan unit komputer dan VDAS ke arus listrik yang telah terhubung dengan stabilizer.
5. Menghidupkan komputer dan instrumen VDAS serta menghubungkan instrumen VDAS ke komputer dengan cara menyambungkan kabel USB ke port USB pada komputer. Setelah itu membuka aplikasi tecquipment VDAS pada komputer.
6. Memastikan tidak terdapat gelembung udara didalam selang bahan bakar tersebut. Jika terdapat gelembung udara pada selang, maka terlebih dahulu mengeluarkan gelembung udara tersebut dengan cara

mencopot selang bahan bakar dari mesin lalu mengeluarkan bahan bakar sedikit demi sedikit sampai tidak ada lagi gelembung udara didalam selang lalu memasang selang kembali.

7. Menghubungkan pompa air ke arus listrik lalu, menghidupkan pompa air dan memastikan laju aliran air pada tekanan 1 bar.
8. Membuka keran air yang menuju ke dinamometer sebesar setengah putaran (180°).
9. Mengkalibrasi torsi dan tekanan kotak udara dengan cara menekan dan menahan tombol pada zero torsi dan air box pressure sampai angka indikator berubah menjadi 0 (nol) pada panel VDAS.
10. Memilih pada aplikasi *tecquipment* VDAS penggunaan bahan bakar dalam menu aplikasi *tecquipment* VDAS 200 – Small Engine Test kemudian memilih otomatis ADA (DVF1).
11. Mengisi data pada menu aplikasi *tecquipment* VDAS yaitu pada menu Fuel Density dengan data misal densitas bahan bakar Pertadex Murni sebesar 810 kg/m^3 .
12. Mengisi data pada menu aplikasi *tecquipment* VDAS yaitu pada menu Engine Capacity sebesar 232 cc, Number of Cycle yaitu 4 dan Orifice Diameter sebesar 18,5 mm sesuai dengan spesifikasi mesin bensin 4 langkah yang digunakan.
13. Menghidupkan mesin serta memanaskan mesin terlebih dahulu hingga mesin sampai pada kondisi kerja.
14. Pengambilan data dilakukan dengan mengatur putaran mesin rpm yang digunakan yaitu 1100, 2000 dan 3000 dengan bukaan katup beban dinamometer 0,5 kg dan 1 kg.
15. Menunggu torsi sampai dengan stabil dan hasil dari *calculated parameters* muncul pada menu aplikasi (menunggu sebanyak 2 kali sensor pembacaan konsumsi BB mengisi tabung BB).
16. Merekam data sebanyak 5 kali untuk setiap 1 kali pengujian dengan cara membuka menu pada aplikasi *tecquipment* VDAS yaitu *start time data acquisition* untuk pengambilan data yang dengan setting bahan bakar otomatis.

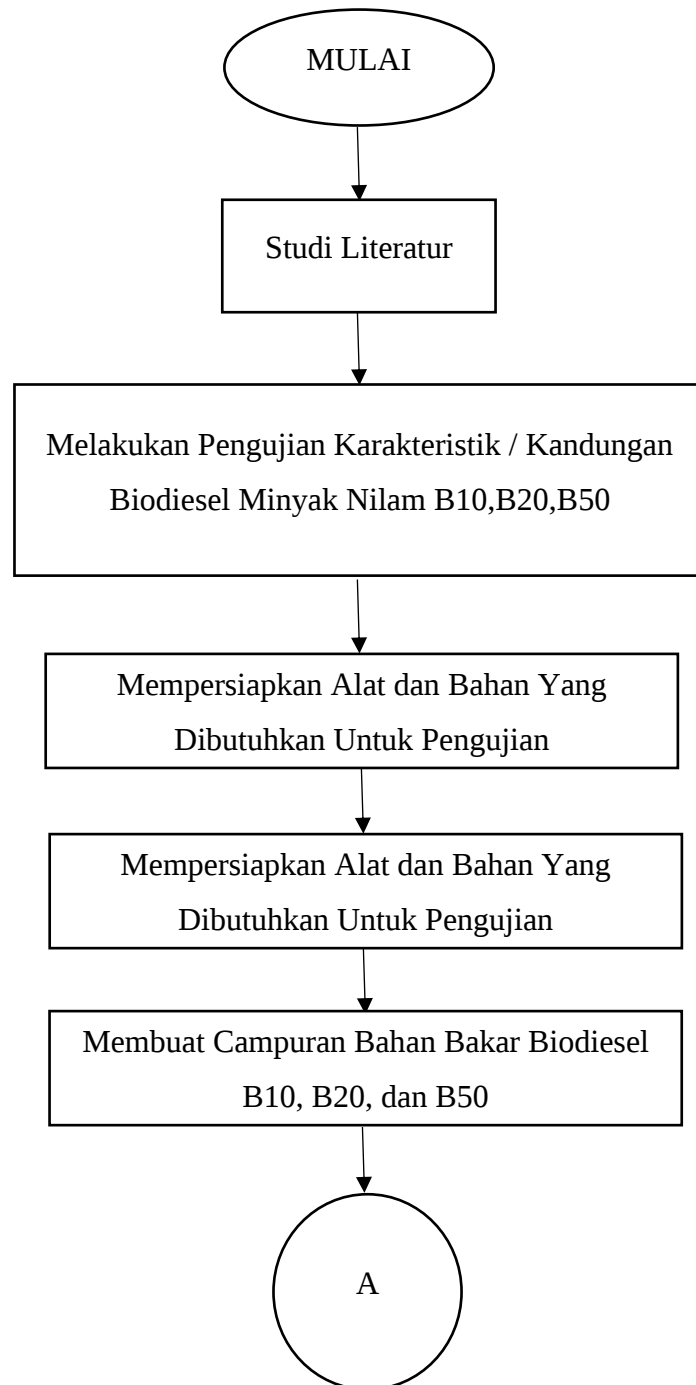
17. Mengisi pada menu tiemd data capture berupa interval 2 detik dan berhenti pada 8 detik, lalu klik OK maka perekaman data dimulai.
18. Menambah tiap bukaan katup beban pada dinanometer dan tiap-tiap bukaan bukaan hingga mencapai torsi puncak pada putaran mesin.
19. Mengulangi langkah 14 - 18 untuk tiap-tiap putaran mesin dalam pengambilan data.
20. Menyimpan data yang sudah direkam dengan cara mengklik pada menu export data to html file, selanjutnya beri nama file terebut. Setelah data di export selanjutnya ctrl+A data pada html file dan copy paste pada microsoft office excel dan save data tersebut. Jika pengambilan data baru maka klik file lalu new untuk pembaharuan data yang akan diambil selanjutnya.

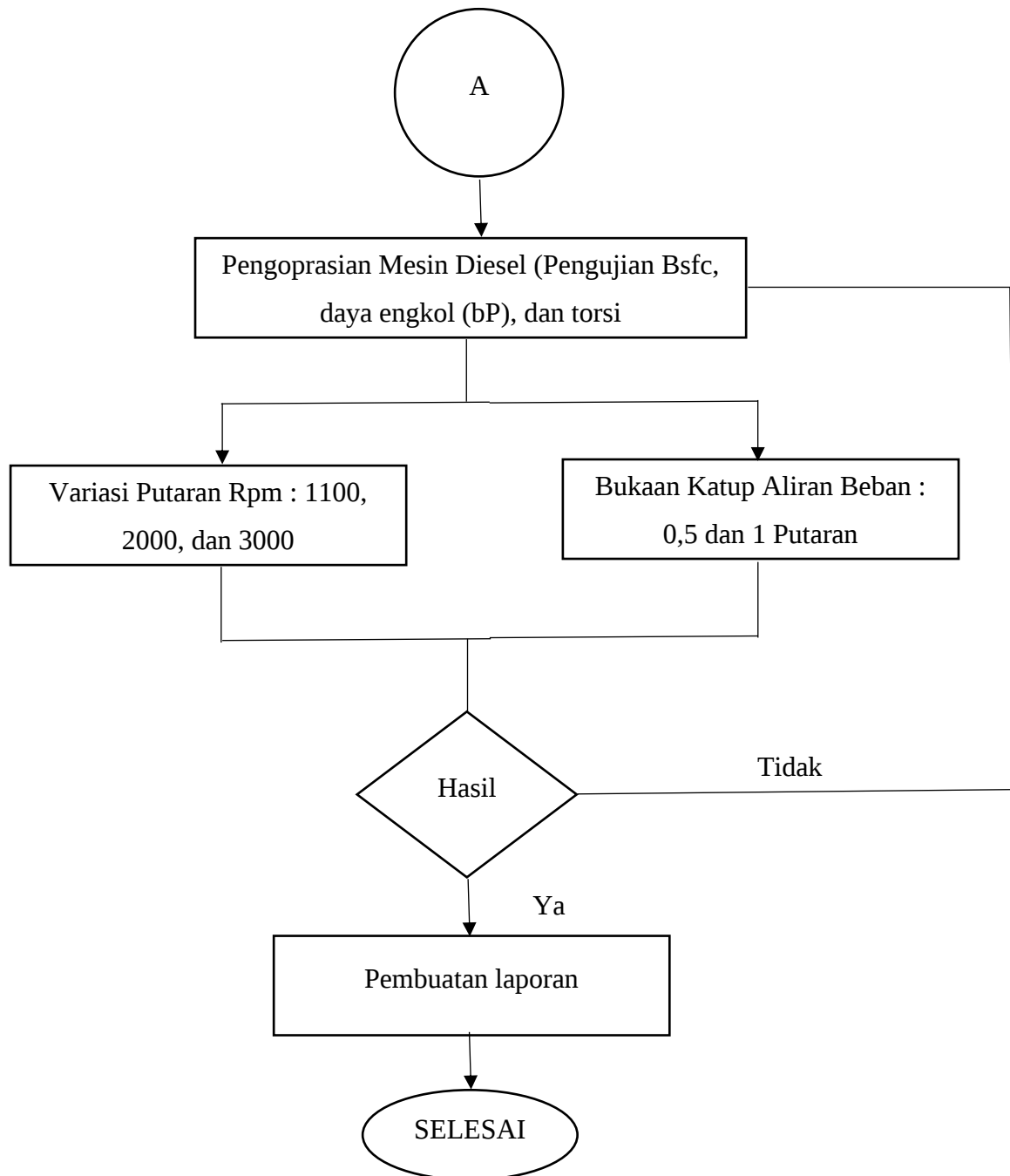
3.4 Analisis Data

Jika data untuk pengujian telah didapat, maka data akan dianalisis menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat di bab 2 yang bertujuan untuk mendapatkan nilai daya engkol dan konsumsi bahan bakar spesifik dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan, data-data hasil pengujian dicatat dalam tabel hasil pengujian. Analisa data dilakukan dengan menggunakan perbandingan prestasi mesin antara pertadex murni dan campuran biodiesel persentase B10, B20 dan B50. Hasil Analisa data ditampilkan dalam bentuk grafik dengan nilai yang dibandingkan pada grafik adalah prestasi mesin terhadap putaran mesin.

3.5 Diagram Alir Pengujian

Adapun pengujian prestasi mesin ada penelitian ini dapat dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada gambar berikut :





Gambar 3.10 Diagram Alir Unjuk Kerja Mesin Diesel

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Setelah melakukan pengujian, pengambilan data dan perhitungan dari data-data yang diperoleh berdasarkan prosedur pengujian yang telah dibuat, serta menggambarannya dalam bentuk grafik dan menganalisa dari grafik dan tabel perhitungan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

- 1) Campuran B20 menghasilkan daya dan torsi tertinggi (+48% dibanding Pertamina Dex) dengan efisiensi yang hampir setara (BSFC hanya naik 2–10%). B10 paling boros (BSFC hingga 3,56 kg/kWh di 1100 rpm) karena kandungan biodiesel terlalu rendah sehingga efek oksigen tidak signifikan memperbaiki pembakaran. B50 menurunkan performa (daya turun 38%, torsi turun 43%) akibat berat jenis yang memperburuk atomisasi dan pembakaran. Dengan demikian, tujuan pertama tercapai: biodiesel nilam terbukti memengaruhi daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar, dengan B20 sebagai campuran optimal.
- 2) Karakterisasi biodiesel, Berat jenis 961,8 kg/m³ (lebih tinggi dari standar diesel perlu perhatian pada pengabutan). Titik nyala: 128°C (aman & jauh di atas syarat minimal 100°C). Titik kabut: -36°C (unggul → tidak mudah membeku, bahkan lebih baik dari banyak biodiesel lain). Kandungan FAME: 96,5% (memenuhi syarat minimal SNI 7182:2015). Bilangan asam: 0,181 mg KOH/g (jauh di bawah batas 0,50 → stabil). Korosi tembaga: 3a (tidak memenuhi batas standar ≤ 1 → masih ada senyawa korosif). Sehingga tujuan kedua tercapai: sifat fisika–kimia biodiesel nilam diketahui, dengan potensi baik pada titik nyala dan titik kabut, namun perlu perbaikan di aspek densitas & korosi.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang ingin disampaikan penulis agar penelitian ini lebih dikembangkan lagi adalah sebagai berikut :

- 1) Diperlukan Pengujian emisi gas buang, karena tujuan biodiesel selain performa adalah menekan polusi (CO, NO_x, asap hitam).
- 2) Pengujian jangka panjang diperlukan untuk mengetahui dampak penggunaan biodiesel nilam terhadap keausan mesin, deposit karbon, dan umur pakai injektor.
- 3) Uji coba lapangan pada mesin operasional (kendaraan bermotor, genset, atau mesin pertanian) disarankan agar hasil penelitian lebih aplikatif dan sesuai kebutuhan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprizal. (2016). Uji Prestasi Motor Bakar Bensin Merk Honda Astrea 100 CC. *Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian*, 9(1), 6–14.
- Aziz, I. (2010). Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(6).
- Aziz, I., Nurbayti, S., & Ulum, B. (2012). Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(3).
- Cahyati, E. D., & Pujaningtyas, L. (2017). *Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Proses* (Vol. 28, Issue 2). Universitas Islam Indonesia.
- Cakrawardana, C. (2021). Dampak Kondisi Lingkungan dalam Penyimpanan Biodiesel terhadap Kualitas Bahan Bakar B30. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 7(2), 60–67.
- Devita, L. (2015). Biodiesel sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensi*, 9(2), 23–26.
- Djafar, Z., Piarah, W. H., & Manggombo, Y. J. (2016). Prestasi Kerja Mesin Diesel 4 Langkah Cat 3616 Tipe V Akibat Perubahan Fuel Rack Pada Injektor. *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional*. Volume 2.
- Hakim, A. R., Wibowo, W., & Astriawati, N. (2020). Sistem Pendingin Mesin Diesel Pada Wheel Loader Komatsu Wa120-3cs. *Teknovasi, Jurnal*, 7, 76–85.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2021). *Menteri ESDM: Cadangan Minyak Indonesia Tersedia untuk 9,5 Tahun dan Cadangan Gas 19,9 Tahun. Siaran Pers Nomor 028.Pers/04/SJI/2021*.
- Kurniawan, R. (2018). Analisis pengaruh penggunaan injector terhadap unjuk kerja honda Beat FI. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2).
- Nasional., B. S. (2015). *Standar Nasional Indonesia. SNI 7182:2015 — Biodiesel*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Nasution, M. A. (2007). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel Sawit terhadap Konsumsi dan Emisi Mobil Diesel Tipe Common Rail. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 15(2), 91–102.
- Okvitarini, N., Hidayah, M., Satriadi, H., & Widayat, W. (2013). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Menggunakan Katalis Koh dengan

- Penambahan Ekstrak Jagung. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 24–29.
- Reza, R. P. (2022). Perencanaan Motor Bakar Diesel dengan Daya 824 Hp untuk Menggerakkan Generator Listrik dengan Kapasitas 512'5 Kva. *Jurnal Persegi Bulat*, 1(2), 38–46.
- Rusli, M. S., Ramadhan, G., Setiaprja, H., & Farobie, O. (2022). Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Atsiri pada Bahan Bakar Biosolar terhadap Kinerja Mesin Diesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 65–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.65>
- Salam, A. H., Fona, Z., Satriananda, S., Putra, A., & Clauzia, C. R. (2021). Karakterisasi Bahan Bakar Pertalite dengan Campuran Minyak Nilam sebagai Bioaditif. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 5(1), 13–16.
- Setiawati, E., & Edwar, F. (2012). Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Riset Industri*, VI(2), 117–127.
- Suardi, W. S., Hidayat, T., & Ramadan, A. Z. (2019). Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Sebagai Campuran Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel. *Inovtek Polbeng*, 9(2).
- Suryanto, A. (2025). *Analisa Suhu Dan Performa Mesin Traktor Kubota L5018 Dalam Penggunaan Bahan Bakar Dan Beban Kerja Yang Berbeda*. Universitas Islam Sumatera Utara.
- Wahidmurni. (2017). PEMAPARAN METODE PENELITIAN KUALITATIF. *Jurnal UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*, 6–18.