ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK JAGUNG TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL DAN EMISI GAS BUANG

SKRIPSI

Oleh

FRIZILLA SAFANA

(2015021021)

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK JAGUNG TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL DAN EMISI GAS BUANG

Oleh

FRIZILLA SAFANA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK JAGUNG TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL DAN EMISI GAS BUANG

Oleh

Frizilla Safana

Biodiesel merupakan bahan bakar yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin Diesel dan terbuat dari sumber terbaharui seperti minyak nabati antara lain minyak jagung. Ketersediaan bahan bakar minyak yang sangat terbatas dapat diatasi dengan melakukan pencampuran menggunakan biodiesel. Penggunaan energi alternatif biodiesel minyak jagung ini diharapkan nantinya dapat mengatasi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi campuran bahan bakar solar dan biodiesel terhadap prestasi mesin dan emisi gas buang mesin Diesel 4 Langkah. Penelitian ini menggunakan variasi bahan bakar solar murni, B5, B10 dan B15 pada putaran mesin 1.000 rpm, 2.000 rpm dan 3.000 rpm dengan variasi bukaan katup beban laju aliran beban dinamometer 0,5; 1; dan 1,5 putaran. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi Teknik Mesin, Universitas Lampung dengan manggunakan alat uji prestasi mesin yaitu mesin Diesel HATZ empat Langkah TD202 dan alat uji emisi gas buang yaitu mesin *Stargas* 898. Berdasarkan data dari hasil pengujian, diperoleh campuran terbaik pada penggunaan bahan bakar B15 dengan peningkatkan nilai torsi sebesar 66,15%, daya engkol sebesar 55,10% dibandingkan dengan bahan bakar solar murni. Sedangkan untuk penurunan konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc) yang paling hemat diperoleh pada campuran bahan bakar B5 sebesar 83,33% dibandingkan bahan bakar solar murni. Penurunan *opacity* emisi gas buang pada variasi campuran bahan bakar B15 bukaan katup 0,5 putaran yaitu diperoleh sebesar 49,3% dibandingkan dengan *opacity* emisi gas buang pada solar. Sedangkan penurunan *opacity* emisi gas buang pada bukaan katup 1,5 putaran yaitu diperoleh sebesar 4,16% dibandingkan dengan *opacity* emisi gas buang pada bahan bakar solar.

Kata kunci: solar-biodiesel, biodiesel minyak jagung, prestasi mesin, emisi gas buang.

ABSTRACT

ANALYSIS OF CORN OIL BIODIESEL USE ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

By

Frizilla Safana

Biodiesel is a fuel used as an alternative to diesel engine fuel and is made from renewable sources such as vegetable oils, including corn oil. The very limited availability of fuel oil can be overcome by blending it using biodiesel. It is hoped that the use of alternative energy such as corn oil biodiesel will be able to overcome dependence on the use of fossil fuels. This research aims to determine the effect of variations in diesel and biodiesel fuel mixtures on engine performance and exhaust emissions of 4 stroke diesel engines. This research uses variations of pure diesel fuel, B5, B10 and B15 at engine speeds of 1,000 rpm, 2,000 rpm and 3,000 rpm with variations in valve openings, dynamometer load flow rate of 0.5; 1; and 1.5 turns. This research was carried out at the Internal Combustion Engine and Propulsion Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Lampung using engine performance test equipment, namely the TD202 four-stroke HATZ Diesel engine and exhaust gas emission test equipment, namely the Stargas 898 engine. Based on data from the test results, the best mixture of fuel was obtained. B15 with an increase in torque value of 66.15%, cranking power of 55.10% compared to pure diesel fuel. Meanwhile, the most economical reduction in brake specific fuel consumption (bsfc) was 83.33%, obtained with the B5 fuel mixture compared to pure diesel fuel. The reduction in exhaust gas emission opacity in variations of the B15 fuel mixture with a valve opening of 0.5 revolutions was 49.3% compared to the exhaust gas emission opacity in diesel. Meanwhile, the reduction in exhaust gas emission opacity at a valve opening of 1.5 revolutions was obtained by 4.16% compared to the exhaust gas emission opacity in diesel fuel.

Keywords: *Diesel-biodiesel, corn oil biodiesel, engine performance, exhaust emissions.*

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **ANALISA PENGGUNAAN BIODIESEL MINYAK JAGUNG TERHADAP KINERJA MESIN DIESEL DAN EMISI GAS BUANG**

Nama Mahasiswa : *Frizilla Safana*

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015021021**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing 1	Komisi Pembimbing 2
Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM., ASEAN. Eng.	**Dr. Harmen, S.T., M.T.**
NIP. 196606822 199512 1001	NIP. 19690620 200003 1001

Ketua Jurusan Teknik Mesin	Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin
Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.	**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**
NIP. 19710817 199802 1003	NIP. 19790821 200312 1003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Anggota Penguji : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**

Penguji Utama : **Ir. A. Yudi Eka R., S.T., M.Eng.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **3 Juni 2024**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Juni 2024

Frizilla Safana

NPM. 2015021021

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama lengkap Frizilla Safana dilahirkan di Muara Enim, Sumatera Selatan pada tanggal 23 April 2002. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Asep Saipul Mukmin dan Ibu Zuraidah. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Aisyiyah Bustanul Athfal Ujanmas Baru pada tahun (2007-2008), SD Negeri 2 Ujanmas (2008-2014), SMP Negeri 1 Ujanmas (2014-2017), SMA Negeri 1 Ujanmas (2017-2020). Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Mata Kuliah, Asisten Laboratorium dan mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai sekretaris bidang Edukasi dan Kemahasiswaan periode 2021/2022, dan sekretaris bidang Edukasi dan Kemahasiswaan periode 2022/2023. Penulis menjalankan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Ulok Manik, Kec. Pesisir Selatan, Kab. Pesisir Barat pada awal Januari – Februari 2023. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Pusaka Bumi Transportasi Muara Enim, Sumatera Selatan pada Juli - Agustus 2023, dengan topik Analisa Gangguan Aliran Bahan Bakar *(Error Fuel)* Pada Unit Bulldozer Liebherr PR756 di Workshop Plant PT. Pusaka Bumi Transportasi. Pada tahun 2021 penulis tertarik bergabung kedalam tim Motor Bakar dan Propulsi Teknik Mesin, Universitas Lampung. Penulis melakukan penelitian di bidang Konversi Energi dengan judul "Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Terhadap Kinerja Mesin Diesel dan Emisi Gas Buang" dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono., S.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng dan Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. serta Bapak Ir. A. Yudi Eka R., S.T., M.Eng sebagai pembahas.

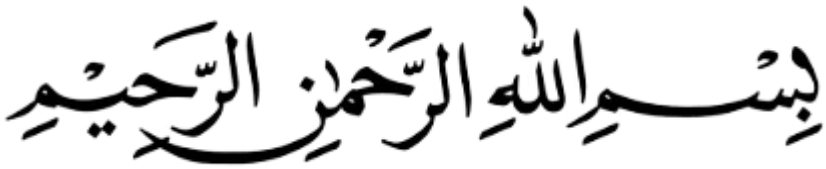
MOTTO

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Qs. Ar-Rum:60)

“Everything you lose is a step you take”

PERSEMBAHAN



Atas Ridho Allah SWT dan dengan segala kerendahan hati

Saya persembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua saya yaitu Bapak Asep dan Ibu Surai, yang sangat saya sayangi dan cintai atas segala keikhlasan disetiap pengorbanan, dukungan dan doa untuk anak mu ini sehingga mendapatkan gelar sarjana.

Kakak saya Egy yang selalu memberikan semangat, dukungan motivasi dan doa yang tiada henti-hentinya kepada tuhan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Untuk Bgdcky yang selalu memberikan semangat serta menemani penulis dalam penyelesaian skripsi ini serta sahabat-sahabat saya yang selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan dan doa untuk saya selama proses penyelesaian skripsi ini.

Dan yang terakhir, saya berterima kasih kepada diri saya sendiri yang telah menyelesaikan segala pencapaian sampai memiliki gelar sarjana serta selalu bertahan sampai saat ini.

Almamaterku, UNIVERSITAS LAMPUNG.

SANWACANA

Puji Syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang ber- judul "Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Terhadap Kinerja Mesin Diesel dan Emisi Gas Buang" 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. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T, M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T, M. Sc. sebagai Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Herry Wardono., S.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir sekaligus dosen Pembimbing Akademik atas kesediaan dan

keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberi kritik sehingga penulis dapat meyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya serta telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan serta membantu segala permasalahan akademik yang dialami penulis.

6. Ir. A. Yudi Eka R., S.T., M.Eng. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
7. Kedua orang tersayang Bapak dan Ibu (Asep Saipul Mukmin & Zuraidah) yang selalu memberikan nasehat, motivasi dan doa yang tak terbatas serta selalu mendukung penulis dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
8. Kakak saya Egy Gusti Hawali, S.Pd. yang telah mensuport selama perkuliahan.
9. Bgdcky yang telah memberikan motivasi kepada saya untuk terus berproses sampai hari ini.
10. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu bersedia membantu penyelesain segala berkas yang diperlukan.
11. Meilisa Putri Utami dan Tri Kusuma Wardani 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 penyelesesain Tugas Akhir ini.
12. Teknisi Laboratorium Mas Agus Sriono, S.T. yang telah membantu penulis pada saat penelitan di Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi.
13. Bang Yosua Daud Aruan, Bang Yohanes Tebu, Bang Fachri Muhammad, Bang Raihandito Rafiano dan Rezi Rama Fajri yang telah membantu dan bersedia direpotkan, memberikan kritik dan saran serta mensuport penulis selama berada di Laboratorium Motor Bakar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2020.

Penulis sangat bersyukur karena telah diberikan orang-orang yang membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dan berdoa semoga Allah SWT membalas kebaikannya 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, 27 Juni 2024

Penulis,

Frizilla Safana

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ..... **xiv**

DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**

DAFTAR TABEL ..... **xix**

I. PENDAHULUAN **1**

1. 1 Latar Belakang 1

1. 2 Tujuan Penelitian 3

1. 3 Batasan Masalah 3

1. 4 Sistematika Penulisan 3

II. TINJAUAN PUSTAKA **5**

2. 1 Biodiesel 5

2. 2 Spesifikasi Biodiesel 6

2.3 Biodiesel dan Solar 8

2.4 Minyak Jagung 9

2.5 Motor Bakar 10

2.5.1 Motor pembakaran luar *(external combustion engine)* 10

2.5.2 Motor pembakaran dalam *(internal combustion engine)* 10

2.6 Mesin Diesel 11

2.6.1 Mesin Diesel 4 Langkah 11

2.6.2 Mesin Diesel 2 Langkah 13

2.7 Parameter Prestasi Mesin 14

2.7.1 Torsi dan Daya 14

2.7.2 Specific Fuel Consumption (SFC) 14

2.7.3 Efisiensi Total Mesin 15

2.8 Emisi Gas Buang 16

2.8.1 Partikulat 16
2.8.2 Hidrokarbon (HC) 16
2.8.3 Karbon Monoksida (CO) 17
2.8.4 Sulfur Okside (SOx) 17
2.8.5 Nitrogen Oksida (NOx) 18
2.9 Emisi Gas Buang Pada Biodiesel 18
III. METODE PENELITIAN 19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 19
3.2 Alat dan Bahan 19
3.3 Metode Penelitian 23
3.3.1 Tahap Pengujian Pada Mesin Diesel 23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Data Hasil Penelitian 29
4.2 Pembahasan Prestasi Mesin 33
4.2.1 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap daya engkol pada putaran mesin 34
4.2.2 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap torsi pada putaran mesin 37
4.2.3 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap pemakaian bahan bakar spesifik pada putaran mesin 40
4.2.4 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap daya engkol pada beban bukaan katup 43
4.2.5 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap torsi pada beban bukaan katup 46
4.2.6 Perbandingan penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel terhadap pemakaian bahan bakar spesifik pada beban bukaan katup. 50
4.3 Pembahasan Emisi Gas Buang 53

V. SIMPULAN DAN SARAN 55

5.1 Simpulan 55

5.2 Saran 56

DAFTAR PUSTAKA 57

LAMPIRAN 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah 12
Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 2 Langkah 13
Gambar 2. 3 Konsentrasi Hidrokarbon pada mesin Diesel empat Langkah 17
Gambar 3. 1 Mesin Diesel 20
Gambar 3.2 Unit Instrumen VDAS 21
Gambar 3.3 *Software Tecquipment* VDAS 21
Gambar 3.4 Mesin Stargas 898 22
Gambar 3.5 Solar 22
Gambar 3.6 Biodiesel Minyak Jagung 23
Gambar 3.7 Diagram Alir Unjuk Kerja Mesin Diesel 27
Gambar 3.8 Diagram Alir Unjuk Kerja Emisi Gas Buan 28
Gambar 4.1 Grafik perbandingan daya engkol terhadap bukaan katup pada putaran 1000 rpm 34
Gambar 4.2 Grafik perbandingan daya engkol terhadap bukaan katup pada putaran 2000 rpm 35
Gambar 4.3 Grafik perbandingan daya engkol terhadap bukaan katup pada putaran 3000 rpm 36
Gambar 4.4 Grafik perbandingan torsi terhadap bukaan katup pada putaran 1000 rpm 37
Gambar 4.5 Grafik perbandingan torsi terhadap bukaan katup pada putaran 2000 rpm 38
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan torsi terhadap bukaan katup pada putaran 3000 rpm 39
Gambar 4.7 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap bukaan katup pada putaran 1000 rpm 41
Gambar 4.8 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap bukaan katup pada putaran 2000 rpm 42
Gambar 4.9 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap bukaan katup pada putaran 3000 rpm 43

Gambar 4.10 Grafik perbandingan daya engkol terhadap putaran mesin pada bukaan katup 0,5 putaran 44
Gambar 4.11 Grafik perbandingan daya engkol terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1 putaran..... 45
Gambar 4.12 Grafik perbandingan daya engkol terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1,5 putaran 46
Gambar 4.13 Grafik perbandingan torsi terhadap putaran mesin pada bukaan katup 0,5 putaran..... 47
Gambar 4.14 Grafik perbandingan torsi terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1 putaran..... 48
Gambar 4.15 Grafik perbandingan torsi terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1,5 putaran..... 49
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin pada bukaan katup 0,5 putaran..... 50
Gambar 4.17 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1 putaran..... 51
Gambar 4.18 Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin pada bukaan katup 1,5 putaran..... 52
Gambar 4.19 Diagram perbandingan emisi gas buang 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015 7
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Diesel 20
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian pada putaran mesin 1000 rpm 30
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian pada putaran mesin 2000 rpm 31
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian beban dinamometer 3000 rpm 32
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang 33

I. PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Dalam 30 tahun mendatang, kehidupan makhluk hidup termasuk manusia di bumi akan mengalami beberapa hambatan. Hal tersebut dapat dikarenakan krisis energi, pemanasan global, efek rumah kaca, dan emisi gas beracun. Permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya berkaitan dengan penggunaan sumber energi fosil dan upaya untuk mengatasi ancaman-ancaman ini masih di tingkat yang sangat mengkhawatirkan (Azeez et al., 2021).

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 Adminisrtation* (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 et al., 2023).

Biodiesel merupakan salah satu alternatif pengganti solar. Ini memilki karakteristik yang sama dengan bahan bakar Diesel. 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 seta dapat diperbaharui. Tujuan pembuatan campuran bahan bakar adalah selain bahan yang mudah didapat, biodiesel tidak merusak lingkungan sekitar.

Minyak nabati yang berasal dari tumbuh – tumbuhan yang ketersediannya sangat melimpah di Indonesia. Seperti minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak jagung, minyak biji karet, minyak bunga matahari dan minyak jagung. Salah satu sumber dari biodiesel yang masih jarang diteliti yaitu menggunakan jagung (*Zea Mays*). Indonesia memiliki produksi jagung yang tinggi dan mudah untuk ditemukan. Minyak jagung merupakan trigliserida yang disusun oleh gliserol dan asam- asam lemak. Komposisi trigliserida yang tinggi membuat minyak jagung juga cocok digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Ahmad et al., 2020).

Pada penelitian terdahulu dari (Setiawan et al., 2019) menyatakan bahwa pengaruh penggunaan minyak jagung pada campuran bahan bakar mesin Diesel memiliki pengaruh yang signifikan untuk menghasilkan konversi energi yang lebih baik. Ini disebabkan oleh hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada campuran bahan bakar B20 dan B30 lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar murni, sehingga penggunaan mesin menjadi lebih efisien hingga 52% pada beban maksimum. Selain itu, mesin yang menggunakan campuran minyak jagung juga menghasilkan torsi yang cenderung lebih besar daripada penggunaan solar murni, sehingga tenaga yang dihasilkan juga lebih besar dengan peningkatan rata-rata sebesar 54% pada beban maksimum. Selain itu, nilai efisiensi total mesin juga lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi total mesin pada penggunaan solar murni saat beban maksimum.

Dan perubahan emisi gas buang yang dihasilkan serta fokus pada pengurangan emisi yang berpotensi lebih ramah lingkungan. Sehingga pemahaman yang lebih mendalam tentang penggunaan biodiesel minyak jagung sebagai campuran bahan bakar alternatif pada mesin Diesel menjadi penting. Berdasarkan dari pernyataan dan penelitian terdahulu, maka penulis akan

melakukan penelitian mengenai "Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Terhadap Kinerja Mesin Diesel dan Emisi Gas Buang".

1. 2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui dampak penggunaan biodiesel minyak jagung terhadap performa mesin Diesel, termasuk daya, torsi serta konsumsi bahan bakar.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar solar dan variasi campuran bahan bakar biodiesel pada emisi gas buang.

1. 3 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 solar murni, biodiesel B5 dengan komposisi campuran 95% dan biodiesel 5%, B10 yaitu solar 90% dan biodiesel 90% serta B15 yaitu solar 85% dan biodiesel 15%.
4. Pengujian emisi gas buang menggunakan alat uji Stargas 898.
5. Parameter emisi gas buang yang dianalisa adalah nilai kepekatan asap *(opacity)* %.

1. 4 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 jagung, 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 biodiesel, minyak jagung, mesin Diesel, motor bakar, parameter mesin Diesel dan emisi gas buang.

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 melaksanaan 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 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Biodiesel merupakan sumber energi terbarukan, bebas belerang, teroksigenasi, berkelanjutan, dan biodegradable. Biodiesel dapat digunakan langsung di mesin dalam bentuk murni maupun campuran pada mesin kovensional. Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan atau lemak hewan (Sudjarwo et al., 2023).

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono– alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin Diesel dan terbuat dari sumber terbaharui seperti minyak nabati antara lain minyak jagung, minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan biodiesel (Indra et al., 2013). Trigliserida minyak nabati memiliki kandungan 90% - 98% dan sejumlah kecil monogliserida dan digliserida. Trigliserida adalah ester dari tiga asam lemak rantai panjang yang terikat pada satu gugus gliserol. Minyak nabati pada umunya terdapat lima jenis asam lemak yaitu asam stearat, asam palmitat, asam oleat, asam linoleat dan asam linolenat. Asam stearat dan asam palmitat termasuk jenis asam lemak jenuh, asam oleat, asam linoleat, asam linolenat termasuk asam lemak tak jenuh, jika asam lemak terlepas dari trigliseridanya maka akan menjadi lemak asam bebas.

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan diantaranya efisiensi pembakaran dan angka setana yang lebih tinggi daripada bahan bakar Diesel turunan minyak bumi. Biodiesel memiliki kandungan senyawa sulfur dan aromatik yang lebih rendah daripada bahan bakar Diesel sehingga emisi gas berbahaya

hasil pembakarannya lebih rendah daripada emisi bahan bakar Diesel turunan minyak bumi. Biodiesel merupakan produk yang didapat dari minyak nabati maupun lemak hewani (Cahyati dan Pujaningtyas, 2017).

2. 2 Spesifikasi Biodiesel

Biodiesel ini bersifat biodegradable, tidak mengandung sulfur, dan bahan bakar dapat diperbarui, meskipun masih diproduksi dengan cara yang tidak ramah lingkungan. Bahan bakar alternatif ini terdiri dari metil atau etil ester, hasil transesterifikasi atau esterifikasi dari asam lemak bebas (FFA). Bahan bakar biodiesel menjadi lebih diminati karena tidak merusak lingkungan. Tanaman dan minyak nabati serta lemak hewani merupakan sumber biomassa yang bisa diperbaharui. Sebagian besar biodiesel terbuat dari transesterifikasi sumber daya yang dapat dijadikan makanan, seperti lemak hewan, minyak sayur bahkan limbah minyak goreng dengan proses katalis kondisi basa. Akan tetapi, konsumsi katalis yang tinggi, pembentukan sabun, serta rendahnya hasil panen membuat biodiesel lebih mahal daripada bahan bakar fosil (Cahyati dan Pujaningtyas, 2017).

Biodiesel adalah monoalkil ester yang diperoleh dari reaksi esterifikasi atau transesterifikasi asam-asam lemak rantai panjang dan alkohol dengan bantuan katalis asam atau basa. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena memiliki emisi pembakaran yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar Diesel berbasis petroleum. Selain itu, bahan baku pembuatan biodiesel dapat diperoleh dari limbah (Ulfa dan Samik, 2023).

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 dan 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 Badan Standarisasi Nasional (BSN) melalui Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu biodiesel di Indonesia yaitu SNI 7182-2015.

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015

No	Parameter Uji	Satuan Min/Maks	Persyaratan
1.	Massa Jenis Pada 40°C	40°C kg/m³	850-890
2.	Viskositas Kinematik Pada 40°C	mm²/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

No	Parameter Uji	Satuan Min/Maks	Persyaratan
8.	Air dan sedimen	% - volume, maks	0,05
9.	Temperatur destilasi 90%	℃, maks	360
10.	Abu tersurfatkan	% - massa, maks	0,02
11.	Belerang	mg/kg, maks	50
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 oksi	Menit	480 36
19.	Monogliserida	% - massa, maks	0,8

Sumber : (Badan Standardisasi 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 tidak menghasilkan residu belerang dan memiliki emisi polutan yang lebih rendah (dengan pengecualian NOx) karena dengan keberadaan oksigen dalam molekulnya. Tetapi biodiesel memiliki kepadatan dan viskositas yang lebih tinggi dan nilai kalor yang lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Viskositas kinematik biodiesel sekitar 10 kali lebih tinggi, kepadatannya sekitar 10% lebih tinggi dan memiliki energi sekitar

10% lebih sedikit daripada bahan bakar Diesel. Biodiesel memiliki keunggulan dalam hal pembaruan karbon dibandingkan dengan solar.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif untuk penggunaan mesin Diesel. Biodiesel dan solar memiliki tekanan uap yang lebih rendah daripada solar sehingga terjadi penurunan kecepatan injeksi dan hilangnya efisiensi aliran. Biodiesel memiliki kemampuan pelumasan yang lebih baik daripada solar karena keberadaan atom oksigen yang lebih rendah dari pada solar. *Brake thermal efficiency* (BTE) didefinisikan sebagai rasio antara output daya dan energi yang dimasukkan melalui injeksi bahan bakar. Perbandingan BTE antara bahan bakar solar dan biodiesel menunjukkan bahwa BTE biodiesel lebih rendah dari pada solar karena biodiesel memiliki viskositas yang lebih rendah, densitas dan nilai kalor yang lebih tinggi dari pada solar.

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.

2.4 Minyak Jagung

Minyak jagung adalah trigliserida yang disusun oleh glliserol dan asamasam lemak. Kandungan trigliserida sekitar 98,6%, sedangkan sisanya adalah bahan non minyak seperti abu, zat warna atau lilin. Asam lemak yang membentuk minyak jagung terdiri dari asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Dalam 100 kg jagung dengan kandungan air 16% akan menghasilkan sekitar 64 kg tepung butiran dan 3 kg minyak jagung. Kelebihan minyak jagung dibandingkan dengan minyak nabati yang lain, adalah kandungan asam lemak tidak jenuh yang tinggi, mengandung asam lemak essensial (omega 3 dan

omega 6) serta vitamin E, sehingga baik untuk penurunan kadar kolesterol ,mencegah penyakit jantung, stroke, kanker, asma,dan diabetes (Destiana dan Mukminah, 2021).

2.5 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, dimana pembakaran terjadi pada saat volume konstan. Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) macam. Adapun pengklasifikasian motor bakar adalah motor pembakaran luar dan motor pembakaran dalam (Aprizal, 2016) :

2.5.1 Motor pembakaran luar *(external combustion engine)*

Mesin pembakaran luar adalah di mana proses pembakaran terjadi diluar mesin itu sendiri panas dari bahan bakar itu tidak di ubah menjaditenaga gerak tetapi melebihi dahulu media perantara baru kemudian di ubah mejadi tenaga mekanik. Secara umum mesin uap dan turbin memiliki karakter yang hanya dapat dipergunakan sebagai penggerakmula ukuran besar misalnya, lokomotif, kapal, dan *power plant* dan tidak baik apabila digunakan sebagai penggerak generator serbaguna, sepeda motor dan kendaraan (mobil).

2.5.2 Motor pembakaran dalam *(internal combustion engine)*

Mesin pembakaran dalam adalah bahan bakarnya terjadi di dalam mesin itu sendiri sehingga panas dari hasil pembakaran langsung bisadi ubah menjadi tenaga mekanik konstruksi dan perencanaan mesin menjadi

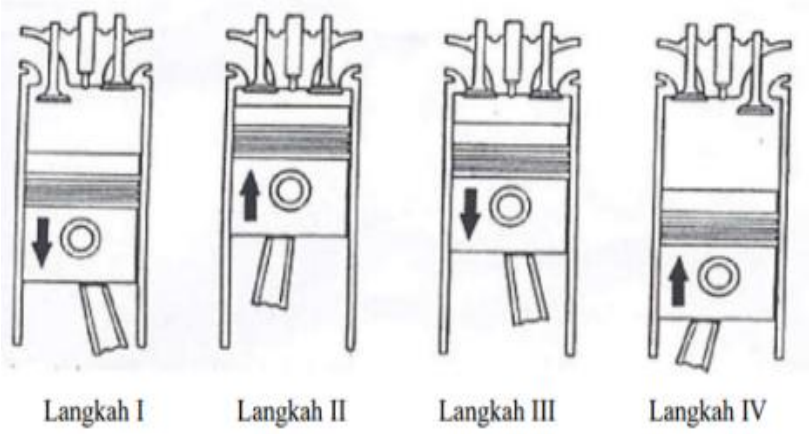
lebih kecil dan sederhana, seperti mesin Diesel yang dapat beroperasi dalam keadaan suhu tinggi dengan siklus berulang ulang dan pemanfaatan motor bakar ini telah menyebar luas karna memilikitenaga yang kuat dan handal disamping itu pemakaian bahan bakar menjadi lebih irit dan efisien.

2.6 Mesin Diesel

Mesin Diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan atau dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar. Sesuai dengan gerakan piston untuk mendapatkan satu kali proses tersebut maka mesin Diesel tersebut dibagi dalam 2 macam (Harjo, 2021) :

2.6.1 Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin Diesel empat langkah (4 Tak) adalah motor yang menyelesaikan satu siklus dalam empat langkah torak atau dua kali putaran poros engkol. Jadi dalam empat langkah itu telah mengadakan proses pengisian, kompresi dan penyalaan, ekspansi serta pembuangan. Titik paling atas dapat dicapai oleh gerakan torak pada silinder disebut TMA. Sedangkan titik terendah yang dapat dicapai oleh ujung atas torak pada silinder disebut TMB. Bila torak bergerak dari TMA sampai ke TMB atau sebaliknya, dikatakan bahwa torak melakukan satu langkah. Untuk setiap siklus, pada motor empat Langkah terdapat empat langkah torak, yaitu dua langkah naik dan dua langkah turun. Akibatnya selama siklus itu berlangsung, poros engkol akan berputar dua kali.



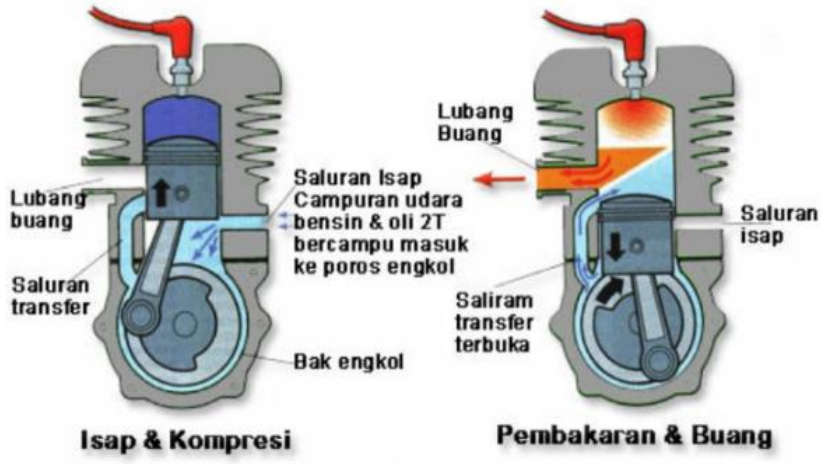
Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah (Harjo, 2021)

a) Langkah I, langkah isap Piston bergerak ke bawah, dimulai dari TMA sampai ke TMB. Katup isap terbuka dan katup buang tertutup, sehingga campuran bahan bakar dan udara terhisap masuk ke dalam silinder melalui katup isap. Ketika torak telah mencapai TMB, katup isap ini akan tertutup.
b) Langkah II, langkah kompresi Piston bergerak dari TMB ke TMA. Katup isap tertutup dan katup buang tertutup, udara di dalam silinder didorong (ditekan) sehingga timbul panas dan tekanan yang tinggi. Akhir kompresi bahan bakar dikabutkan (disemprotkan dengan tekanan yang sangat tinggi melalui lubang yang sangat kecil) sehingga terjadi pembakaran (berupa ledakan).
c) Langkah III, usaha Pada langkah ini, kedua katup masih tertutup sehingga semprotan bahan bakar di ruang bakar akan menyebabkan ledakan pembakaran yang akan meningkatkan suhu dan tekanan di ruang bakar. Tekanan yang besar tersebut akan mendorong piston dari TMA (titik 3) ke TMB (titik 4), dan menyebabkan terjadinya gaya aksial. Gaya aksial ini dirubah dan diteruskan oleh poros engkol menjadi gaya radial (putar).
d) Langkah IV, pembuangan Katup masuk masih tertutup dan katup buang terbuka. Piston bergerak dari TMB menuju TMA sehingga mendorong gas sisa pembakaran (gas buang) keluar melalui katup buang yang terbuka. Akhir langkah buang katup masuk terbuka

sehingga udara segar masuk ke dalam silinder dan ikut mendorong gas buang keluar.

2.6.2 Mesin Diesel 2 Langkah

Mesin Diesel 2 langkah ialah Mesin Diesel dimana setiap satu kali proses usahaterjadi 2 (dua) kali langkah piston atau satu kali putaran poros engkol.



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 2 Langkah (Harjo, 2021)

a) Langkah I, pengisian dan kompresi Yang terjadi pada langkah ini adalah : Piston bergerak dari TMB (Titik Mati Bawah) ke TMA (Titik Mati Atas). saluran masuk membuka sehingga udara bersih masuk ke dalam dengan bantuan pompa udara. Sesaat setelah saluran hisap menutup dan saluran buang menutup maka mulai dilakukan Langkah kompresi hingga tekanan udara mencapai 700 - 9000℃.
b) Langkah II, usaha dan pembuangan Pada langkah ini yang terjad adalah sebelum piston mencapai TMA (Titik Mati Atas), injektor akan mengabutkan bahan bakar ke ruang bakar dan ini sebagai pembakaran awal. Hal itu dikarenakan bahan bakar bercampur dengan udara bersih dan bertekanan tinggi maka akan terjadi proses pembakaran sempurna, akibatnya akan mendorong piston 8 dan piston pun bergerak dari TMA ke TMB, sesaat piston belum mencapai TMB (Titik Mati Bawah) katup buang sudah mulai membuka. Apabila

saluran hisap membuka maka udara bersih akan membantu mendorong gas sisa hasil pembakaran keluar.

2.7 Parameter Prestasi Mesin

Parameter-parameter dalam menentukan karakteristik unjuk kerja mesin dapat dihitung menggunakan beberapa parameter, dimana parameternya adalah sebagai berikut (Wardono et al, 2023) :

2.7.1 Torsi dan Daya

Pengunaan 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 :

$$\mathrm{b}P = 2\,\frac{\pi\, n\, \mathrm{TAP}}{60000} \qquad \text{.....(1)}$$

Dimana :

bP = Daya (kW)

n = Putaran Mesin

T_{AP} = Torsi (N.m)

T_{AP} = 1,001 TRD

$$T_{AP} = F \times R \qquad \text{.....(2)}$$

2.7.2 Specific Fuel Consumption (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 :

$$bsfc = \frac{m_f}{bP} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Dimana :

bsfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

m_f = Laju aliran bahan bakar (kg/jam)

bP = Daya keluaran (kW)

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

$$m_f = \frac{sfc \times 8 \times 0{,}001}{t_f} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Di mana :

m_f = Massa jenis (kg/liter)

sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

t_f = Waktu pemakaian 8 ml bahan bakar (detik)

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 efesiensi total mesin adalah :

$$bth = \frac{3600 \times bP}{m_f \times CV} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Dimana :

bth = Efisiensi termal engkol

CV = 42.000 kJ/kg untuk bahan bakar solar

CV = 41.000 kJ/kg untuk bahan bakar bensin

2.8 Emisi Gas Buang

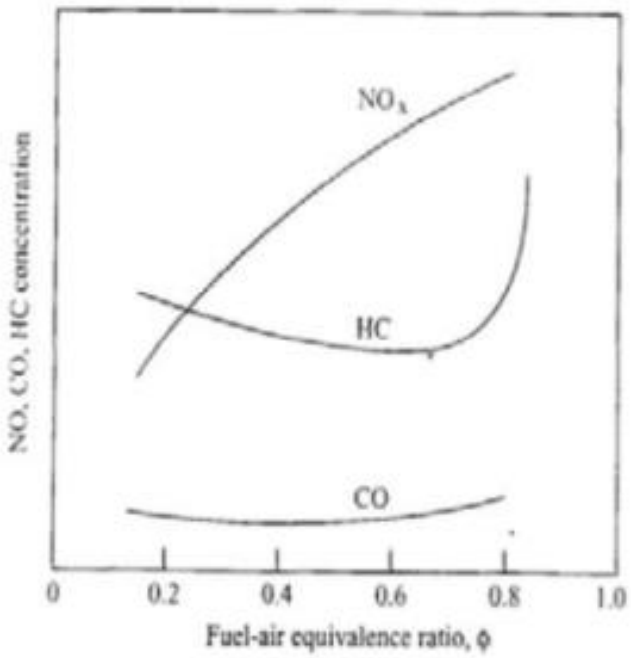
Emisi gas buang merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan. Di Indonesia, kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan oleh emisi gas buang mesin kendaraan bermotor. Gas buang mesin kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan. Terdapat jenis emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan (Irfan dan Hendra, 2018) :

2.8.1 Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari buangan mesin umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan membentuk asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tak sempurna bahan bakar minyak yang berkomposisikan senyawa organik hidrokarbon. Partikel asap mempunyai diameter berkisar 0.5 m – 1 m.

2.8.2 Hidrokarbon (HC)

Sesuai dengan namanya, komponen hidrokarbon hanya terdiri dari elemen hidrogen dan karbon. Pelepasan hidrokarbon dari gas buang mesin disebabkan oleh pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna akibat adanya bahan bakar yang tidak terbakar. Salah satu faktor yang mempengaruhi munculnya hidrokarbon dalam buangan mesin adalah rasio udara-bahan bakar. Gambar 2.3 di bawah ini menunjukkan pengaruh antara rasio ekivalen udara-bahan bakar (φ) terhadap konsentrasi hidrokarbon yang dihasilkan pada mesin Diesel empat Langkah. Tingginya φ akan meningkatkan temperatur di silinder yang akan mempermudah pembakaran campuran udara-bahan bakar over mixed (sangat miskin) dan under mixed (campuran kaya). Padaputaran tinggi, hidrokarbon akan meningkat kembali jika jumlah bahan bakar yang diinjeksikan terlalu banyak selama proses pembakaran.



Gambar 2. 3 Konsentrasi Hidrokarbon pada mesin Diesel empat Langkah (Irfan dan Hendra, 2018)

2.8.3 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah suatu komponen yang tak berwarna, tak berasa dan tak berbau. Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses berikut:

1. Pembakaran tidak lengkap dan sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
2. Reaksi antara CO_2 dan komponen yangmengandung karbon pada suhu tinggi.
3. Pada suhu tinggi CO_2 terurai menjadi CO dan O_2.

2.8.4 Sulfur Okside (SOx)

Polusi oleh sulfur okside terutama disebabkan oleh dua komponen gas yang tidak berwarna yaitu, sulfur diokside (SO_2) dan sulfur triokside (SO_3), dan keduanya disebut sebagai SOx. Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur triokside merupakan komponen yang tidak reaktif. Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk

sulfur okside, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Meskipun udara tersedia dalam jumlah cukup, SO_2 selalu terbentuk. Jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi reaksi dan bervariasi 1 sampai 10% dari total SOx.

2.8.5 Nitrogen Oksida (NOx)

Nitrogen oksida (NOx) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrikokside (NO) dan nitrogen diokside (NO_2). Umumnya oksida nitrogen berbentuk nitrogenmonoksida (NO), dan sejumlah kecil nitrogendioksida (NO_2). Pembentukan NOx sangat bergantung pada temperatur, lamanya gas hasil pembakaran berada yang tersedia. NOx timbul karena adanya reaksi nitrogen dan oksigen pada temperatur yang tinggi. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin tinggi pula konsentrasi NOx yang dihasilkan.

2.9 Emisi Gas Buang Pada Biodiesel

Penggunaan biodiesel pada mesin dapat mengurangi emisi tanpa mengorbankan unjuk kerja dan efisiensi dari mesin. Biodiesel pada campuran 20% dapat mengurangi partikulat sebanyak 30%, CO_2 sebanyak 21%, dan total hidrokarbon sebanyak 47%. Sedangkan penggunaan biodiesel 100% dapat menurunkan emisi CO_2 sampai 100%, menurunkan emisi SO_2 sampai 100%, menurunkan emisi CO antara 10% sampai 50% dan menurunkan emisi HC antara 10% sampai 50%. Penggunaan biodiesel tidak mengurangi emisi NOx. Nitrogen oksida pada gas buang mesin merupakan hasil pembakaran nitrogen. Hal ini terjadi dikarenakan biodiesel terbuat dari minyak tumbuhan yang banyak mengandung unsur nitrat. Semakin banyak penambahan biodiesel yang digunakan dalam campuran bahan bakar mesin maka konsentrasi NOx yang dihasilkan akan semakin tinggi. Walaupun penggunaan biodiesel 100% dapat mengurangi pembentukan gas buang, penggunaannya tidak disarankan karena dapat merusak saluran bahan bakar dan komponen mesin yang terbuat dari karet alami .

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Waktu Penelitian
   Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Februari sampai Mei 2024.

2. Tempat Penelitian
   Pengujian mesin Diesel dan emisi gas buang dilakukan di Laboratorium 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 :

1. Alat
   Adapun alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :
   a. Motor Diesel 4 Langkah Satu Silinder
      Pada penelitian ini, jenis motor yang digunakan adalah mesin Diesel 4 langkah telah dilengkapi dinamometer dengan sistem pembebanan menggunakan laju aliran air yang bertekanan 1 bar. 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
Saluran keluar knalpot	Nominalnya 1"BSP
Sistem pengapian	Tidak ada – solar
Kekuatan Maksimum	3,5 kW (4,8 hp) pada 3600 putaran menit-1
Nilai Daya Berkelanjutan	3,1 kW pada 3000 putaran min-1
Diameter Silinder	69 mm
Radius Engkol	62mm/31mm
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, di mana 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

d. Mesin Stargas 898

Mesin stargas 898 yaitu digunakan untuk mengidentifikasi kandungan yang berada pada gas buang mesin Diesel.

Gambar 3.4 Mesin Stargas 898

2. Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Solar

Solar merupakan bahan bakar Diesel. Solar yang digunakan merupakan solar yang biasanya dijual pada pertamina.

Gambar 3.5 Solar

b. Biodiesel Minyak Jagung

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

Gambar 3.6 Biodiesel Minyak Jagung

3.3 Metode Penelitian

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

3.3.1 Tahap Pengujian Pada Mesin Diesel

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

1. Menyiapkan peralatan mesin uji yaitu *Tecquipment* TD 202 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 Solar Murni sebesar 850 kg/m3.
12. Mengisi data pada menu aplikasi *tecquipment* VDAS yaitu pada menu *Engine Capasity* 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 1000, 2000 dan 3000 dengan bukaan katup beban dinamometer 0,5 kg, 1 kg, dan 1,5 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.

3.3.2 Tahap pengujian emisi gas buang

Adapun prosedur pengujian emisi gas buang yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghidupkan mesin kemudian memanaskan mesin hingga dalam kondisi siap kerja.
2. Setelah mesin mencapai kondisi siap kerja, matikan terlebih dahulu untuk kemudian melakukan *setting* alat *Stargas* 898.
3. Menghubungkan StarGas 898 ke arus listrik dan menghidupkan *switch Stargas* 898, maka pada layar akan tampil perintah *Press Any*

Key To Continue lalu menekan tombol "*Any Key*" pada panel StarGas 898.

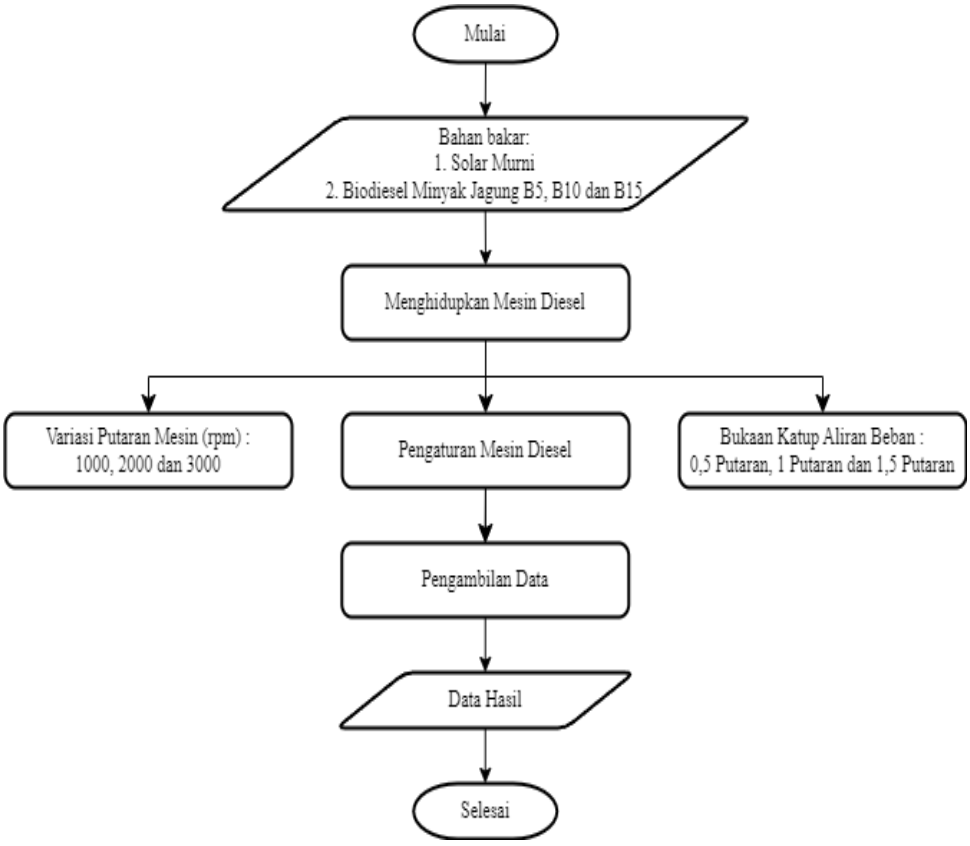
4. Selanjutnya alat stargas akan melakukan pemanasan atau *warming up* dan meminta agar selang *probe* yang menuju knalpot atau gas buang untuk di lepas.
5. Setelah selesai proses *warming up* maka akan tampil pilihan pengujian *gas analysis, smoke analysis, scope/multimeter*. Maka pilih *smoke analysis* untuk pengujian motor Diesel.
6. Memasang kembali selang *probe* yang menuju knalpot atau gas buang.
7. Pada layar akan tampil pilihan *"eec test", "cuna test", "continue test"* dan *"graphic test"*. Pilih "*cuna test"*.
8. Maka alat akan melakukan *"auto zero"*. Tunggulah sesaat sampai dengan selesai.
9. Menghidupkan mesin Dieselnya. lalu pada layar akan tampil permintaan dari alat stargas untuk mengikuti instruksi yang ada pada layar berupa tiga permintaan *accelerations* (pengegasan). Lihat tulisan di blok hijau berupa perintah *"accelerate"*.
10. Melakukan pengegasan dimulai dari rpm rendah ke rpm tinggi sampai layar terlihat tulisan perintah *"stop"* di blok merah.
11. Ulangi langkah 9 dan 10 sebanyak 2 kali lagi maka pada layar akan keluar perintah *"wait please"* di blok biru.
12. Selanjutnya layar akan meminta pengegasan *(accelerate)* dan tampilan layar telah menunjukkan angka "*opacity*, rpm*, engine temperature*, Nr *opacity*, rpm minimal dan rpm maksimal. Melakukan pengegasan sampai dengan alat meminta untuk *"stop"*.
13. Ulangi langkah 12 sebanyak 4 kali lagi sehingga total pengujian adalah 5 kali dan alat stargas akan mencentang pada nilai–nilai opacity yang berdekatan untuk kemudian melakukan penghitungan rata–rata yang di tampilkan sebagai nilai opacity. Layar akan menginformasikan bahwa test sudah selesai *"Test end"*.

3.4 Analisa Data

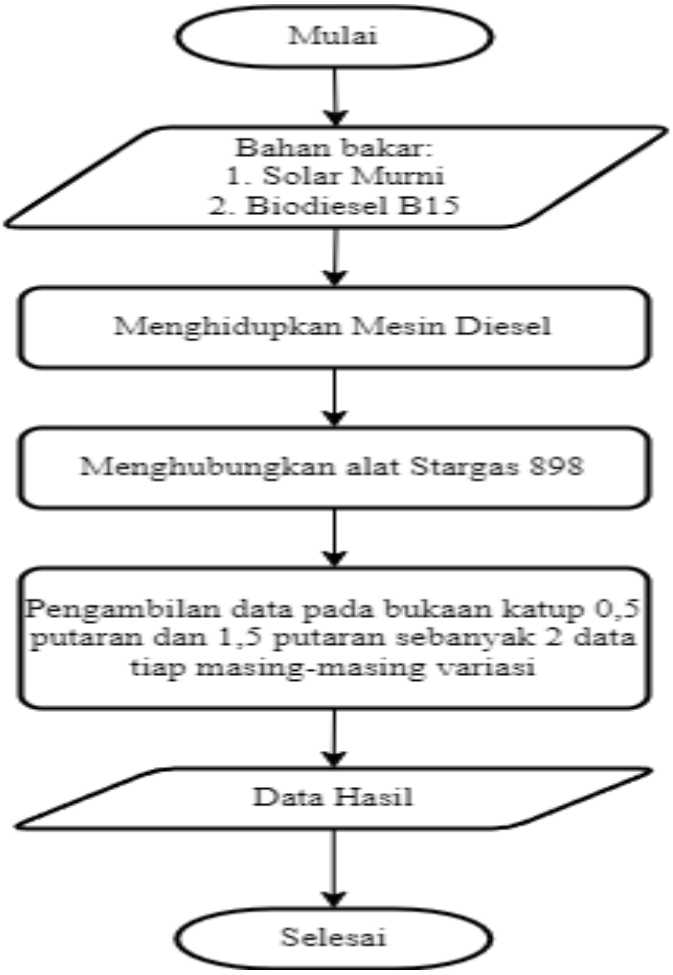
Jika data untuk pengujian telah didapat, maka data akan dianalisis menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat di bab 2 yang bertujuan untuk mendapatkan nilai daya engkol dan konsumsi bahan bakar spesifik dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan, data-data hasil pengujian dicatat dalam tabel hasil pengujian. Analisa data dilakukan dengan menggunakan perbandingan prestasi mesin dan emisi gas buang antara solar murni dan campuran biodiesel persentase B5, B10 dan B15. 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 dan emisi gas buang pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.7 Diagram Alir Unjuk Kerja Mesin Diesel



Gambar 3.8 Diagram Alir Unjuk Kerja Emisi Gas Buang

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari hasil pengujian, pengambilan data dan perhitungan data-data yang diperoleh berdasarkan prosedur pengujian yang telah dibuat serta menggambarkannya dalam bentuk grafik dan menganalisa dari grafik dari table perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan bahan bakar solar dan variasi campuran bahan bakar biodiesel dengan komposisi 5%, 10% dan 15% sebagai campuran bahan bakar biodisel mampu meningkatkan nilai prestasi mesin seperti torsi, daya engkol dan mampu menghemat konsumsi bahan bakar spesifik engkol. Peningkatan nilai torsi dan nilai daya engkol tertinggi terdapat pada penggunaan campuran bahan bakar biodiesel B15, diperoleh peningkatan nilai torsi sebesar 66,15% dan peningkatan nilai daya engkol sebesar 55,10% dibandingkan bahan bakar solar. Sedangkan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik engkol (bsfc) yang paling hemat diperoleh pada saat menggunakan variasi campuran bahan bakar B5 bukaan katup 1,5 putaram mesin 3000 rpm yaitu sebesar 83,33% dibandingkan dengan bahan bakar solar.

2. Pengujian emisi gas buang pada kepekatan asap *(opacity)* pada variasi campuran bahan bakar B15 terbukti lebih rendah dibandingkan dengan solar murni pada prestasi mesin terbaik yaitu menggunakan bukaan katup 0,5 putaran dan bukaan katup 1,5 putaran. Penurunan *opacity* emisi gas buang pada variasi campuran bahan bakar B15 bukaan katup 0,5 putaran yaitu diperoleh sebesar 49,3 % dibandingkan dengan *opacity* emisi gas buang

pada solar. Sedangkan penurunan *opacity* emisi gas buang pada bukaan katup 1,5 putaran yaitu diperoleh sebesar 4,16 % dibandingkan dengan *opacity* emisi gas buang pada bahan bakar solar.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang penulis sampaikan agar penelitian ini lebih dapat dikembangkan lagi adalah sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan pengujian ke mesin Diesel, hendaknya dilakukan terlebih dahulu pengujian parameter bilangan setana pada biodiesel tersebut untuk memastikan bahwa biodiesel yang dipakai memiliki bilangan setana yang sesuai dengan standarisasi karakteristik biodiesel.
2. Untuk penelitian selanjutnya mengenai pengujian kinerja mesin Diesel bisa menggunakan variasi campuran bahan bakar solar dan komposisi yang berbeda.
3. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan biodiesel dari jenis bahan baku minyak nabati yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad R, K., Prasetyo, A., Panji N, D., dan Miftahul J, D. 2020. Alkoholisis Minyak Jagung *(Zea Mays* (L)) Dengan Menggunakan Katalis NaOH Pada Tekanan 1 Atm. Jurnal Distilasi Vol. 5 No.1 Universitas Muhammadiyah Palembang. Palembang.

Aprizal. 2016. Uji Prestasi Motor Bakar Bensin Merk Honda Astrea 100 CC. *Skripsi*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian. Riau.

Azeez, N. A., Oyelami, S., Adekanmi, A. A., Ologunye, O. B., Adedigba, S. A., Akinola, O. J., dan Adeduntan, A. S. 2021. Biodiesel *potentials of microalgal strains isolated from fresh water environment*. *Journal of Environmental Management* Vol. 5 No.10.

Badan Standardisasi Nasional. 2015. Sni 7182:2015. Badań Standardisasi Nasional.

Cahyati, E. D., & Pujaningtyas, L. 2017. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH. Tugas Akhir Diploma. Jurusan Teknik Kimia Industri Fakultas Kejuruan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Destiana, I., dan Mukminah, N. 2021. Teknologi Minyak Lemak *(Issue May)*. Jurnal Polsub Press Vol. 5 No. 1 Politeknik Negeri Subang. Subang.

Dewi, S. K., Yuliati, L., dan Widodo, A. S. 2023. Karakterisasi Biodiesel Produk Transertifikasi Menggunakan Variasi Kecepatan Sentrifugal Pada Proses Pemisahan Fame. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 14 No. 1. Malang.

Fu'ad, AM. 2020. Pemanfaatan Zeolit Alam Lampung Sebagai Katalis Terimpregnasi Logam ZnO dan TiO Dalam Pembuatan 2 Biodiesel. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Institut Teknologi Kalimantan. Balikpapan.

Hambali, M., Munandar, A., dan Simanjuntak, R. J. 2016. Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Jagung Bekas Dengan Variasi Bentonit Pengolahan Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. Jurnal Teknik Kimia Vol. 22 No. 2. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Palembang.

Harjo, S. 2021. *A*nalisa Teknis Ekonomi Penggunaan Hsd Dan Biodiesel B30 Pada Kapal Motor Penumpang 1750 Gt. 5–40. *Skripsi*. Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Universitas Darma Persada. Jakarta.

Helmi, Yuda. 2018. Pengruh Variasi Campuran Bahan Bakar Pertalite Dan Bioetanol Terhadap Prestasi Mesin Dan Emisi Dan Emisi Gas Buang Mesin Bensin 4 Langkah Tecquipment TD201. *Skripsi*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Lampung.

Indra D, F. 2013. Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem. Jurnal Teknik Mesin Unesa Vol. 02 No.1. Semarang.

Irfan, S. dan Hendra, P. 2018. Studi Komparasi Emisi Gas Buang Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar Solar Dan Minyak Kelapa (Virgin Coconut Oil). Jurnal 7 Samudra Politeknik Pelayaran Surabaya Vol. 3, No.1. Surabaya.

Purwasusanti. 2015. Esterifikasi Minyak Goreng Bekas Dengan Katalis Asam Heterogen Pada Pembuatan Biodiesel Sebagai Materi Pembelajaran Kimia Organik di Laboratorium. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Setiawan, W., Hidayat, T., Zakari, A. 2019. Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Sebagai Campuran Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel. Jurnal Inovtek Polbeng Vol. 9 No. 2. Balikpapan.

Suardi, S., Ikhwani, R. J., dan Aulia, A. P. R. 2023. *Effect of Temperature Variations of Corn (Maize) Oil Biodiesel on Torque Values and Thermal Efficiency of Diesel Engines*. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)* Vol. *7 No.* 1. Malang.

Sudjarwo, D. L., Priyantoko, I. W., dan Karim, M. L. 2023. Penggunaan Minyak Jagung Halus Sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Skripsi*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.

Wardono, H., Yudi, E. R., dan Harmen. 2023. Pengujian Prestasi Mesin Dan Uji Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel 4 - Tak. Laporan Praktikum. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Lampung.

Ulfa, S. N. S., dan Samik, S. 2023. Artikel Review: Pemanfaatan Katalis Zeolit Alam Teraktivasi Dalam Sintesis Biodiesel Dengan Metode Esterifikasi Dan Transesterifikasi. *Unesa Journal of Chemistry*, Vol. 11 No. 3. Surabaya.