

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL TV 1
MENGUNAKAN BIODIESEL HASIL
TRANSESTERIFIKASI CPO DENGAN VARIASI
KATALIS**

Disusun dan Diajukan Oleh:

PASKAL SALLOLO MANGA'

D021 19 1098



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL TV 1 MENGGUNAKAN BIODIESEL HASIL TRANSESTERIFIKASI CPO DENGAN VARIASI KATALIS

Disusun dan diajukan oleh

PASKAL SALLOLO MANGA'

D021 19 1098

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP 19791112200812 2 002

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr.Eng. Andi Erwin Eka Putra.,ST.,MT
NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin.,ST.,MT
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Paskal Sallolo Mnaga'
NIM : D021191098
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Analisis Kinerja Mesin Diesel TV-1 Menggunakan Biodiesel Hasil
Transesterifikasi CPO Dengan Variasi Katalis”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 5 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Paskal Sallolo Manga'

ABSTRAK

PASKAL SALLOLO MANGA'. ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL TV 1 MENGGUNAKAN BIODIESEL HASIL TRANSESTERIFIKASI CPO DENGAN VARIASI KATALIS (dibimbing oleh Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT dan Prof. Dr.Eng.Andi Erwin Eka Putra.,ST.,MT)

Bahan bakar minyak (BBM) adalah energi dengan konsumsi yang terbesar untuk saat ini di seluruh dunia. Meningkatnya konsumsi energi dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, mengakibatkan terjadinya krisis energi terutama bahan bakar minyak. Sekarang bahan baku yang memenuhi standar kebutuhan kapasitas produksi adalah minyak kelapa sawit kasar (CPO). Penelitian ini bertujuan untuk memecahkan permasalahan dari biodiesel tersebut. Untuk meningkatkan kinerja pembakaran dan kinerja mesin yang dihasilkan biodiesel dan memaksimalkan pemanfaatan minyak kelapa sawit menjadi biodiesel. Dalam meningkatkan performa mesin diesel metode perlakuan penggunaan pelarut katalis dalam memproduksi biodiesel mempengaruhi sifat fisik dari biodiesel yang dihasilkan. Sebuah metode Transesterifikasi dapat memberikan perlakuan yang berfungsi meningkatkan nilai kalor dari biodiesel, serta penggunaan katalis dapat mengubah nilai densitas dan viscositas serta titik nyala pada biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya efektif (BP) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio 14 dengan menggunakan katalis B35 + CaO yaitu sebesar 2,571 kW, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) minimum terjadi pada rasio kompresi 14 beban 9 dengan menggunakan katalis B35 + MgO yaitu 2.538 kW, perbandingan udara bahan bakar (AFR) maksimum terjadi pada beban 5 kg rasio kompresi 14 dengan menggunakan katalis B35 + CaO yaitu sebesar 32.519, efisiensi volumetrik (η_{vo}) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio kompresi 14 dengan penambahan menggunakan katalis B35 + CaCO₃ yaitu sebesar 73,673%, dan efisiensi thermis (η_{th}) maksimum terjadi pada beban 9 kg rasio kompresi 14 dengan menggunakan katalis CaO yaitu 26,312%, penambahan katalis pada produksi biodiesel hasil Tansesterifikasi dapat meningkatkan opasitas emisi gas buang.

Kata Kunci: Biodiesel, Minyak Kelapa Sawit (CPO), Transesterifikasi

ABSTRACT

PASKAL SALLOLO MANGA'. *PERFORMANCE ANALYSIS OF TV 1 DIESEL ENGINE USING BIODIESEL PRODUCED FROM CPO TRANSESTERIFICATION WITH CATALYST VARIATIONS* (supervised by Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT and Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra., ST., MT)

Fuel oil (BBM) is the energy with the largest consumption currently throughout the world. Increasing energy consumption and the depletion of petroleum reserves have resulted in an energy crisis, especially fuel oil. Currently, the raw material that meets the standard production capacity requirements is crude palm oil (CPO). This research aims to solve the problem of biodiesel. To improve combustion performance and engine performance produced biodiesel and maximize the utilization of palm oil into biodiesel. In improving diesel engine performance, the treatment method of using catalyst solvents in producing biodiesel affects the physical properties of the biodiesel produced. A transesterification method can provide treatment that functions to increase the heating value of biodiesel, and the use of catalysts can change the density and viscosity values as well as the flash point of biodiesel. The research results show that the maximum effective power (BP) occurs at a load of 9 kg ratio 14 using the B35 + CaO catalyst, namely 2.571 kW, the minimum specific fuel consumption (SFC) occurs at a compression ratio of 14, load 9 using the B35 + MgO catalyst, namely 2,538 kW, the maximum air fuel ratio (AFR) occurs at a load of 5 kg compression ratio 14 using the B35 + CaO catalyst which is 32,519, the maximum volumetric efficiency (η_{vo}) occurs at a load of 9 kg compression ratio 14 with the addition of using the B35 + CaCO₃ catalyst namely 73.673%, and the maximum thermal efficiency (η_{th}) occurs at a load of 9 kg with a compression ratio of 14 using a CaO catalyst, namely 26.312%. The addition of a catalyst to the production of biodiesel resulting from Tansesterification can increase the opacity of exhaust emissions.

Keywords: Biodiesel, Palm Oil (CPO), Transesterification

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SIMBOL	xi
Kata Pengantar	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biodiesel.....	4
2.2 Minyak kelapa sawit (<i>Crude Palm Oil</i>)	4
2.3 Katalis.....	5
2.4 Metanol.....	6
2.5 Magnesium Oksida.....	7
2.6 Kalsium Karbonat	8
2.7 Kalsium Oksida	9
2.8 Transesterifikasi	10
2.9 Uji Karakterisasi.....	10
2.8.1 Massa Jenis (Densitas) M_a	10
2.8.2 Viskositas	11
2.8.3 Nilai Kalor	11
2.8.4 Titik Nyala (<i>Flash Point</i>).....	13

2.10	Mesin Diesel	14
2.8.1	Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Langkah.....	14
2.8.2	CVR (<i>Variable Compression Ratio</i>).....	15
2.11	Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel	17
2.9.1	Emisi Nox	17
2.9.2	Emisi Karbon Monoksida (CO).....	17
2.9.3	Emisi Hidrokarbon (HC).....	18
2.10	FT-IR (Fourier Transform Infrared).....	18
2.11	GC-MS (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer)	19
2.12	Dasar – Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Waktu Dan Tempat	23
3.2	Alat Dan Bahan	23
3.2.1	Alat yang Digunakan	23
3.2.2	Bahan Yang Digunakan	29
3.3	Prosedur Penelitian.....	32
3.3.1	Pembuatan Biodiesel.....	32
3.3.2	Pembuatan Biodiesel B35	32
3.3.3	Pengambilan Data Menggunakan Komputer	32
3.4	Flowcart Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PENELITIAN		36
Tabel 4.1 Karakterisasi Biodiesel Hasil Transesterifikasi B35.....		36
4.2	Perhitungan (B35 Rasio Kompresi 14 Beban 9).....	37
4.3	Perhitungan B35	37
4.4	Perhitungan (B35 + CaO Rasio Kompresi 14 Beban 9).....	38
4.5	Kinerja Pembakaran Mesin Diesel TV1.....	40
4.6	Pelepasan Panas (<i>Heat Release</i>) Mesin Diesel TV1	51
4.7	Kinerja Mesin Diesel TV1	53
4.8	Analisis FTIR	61
4.9	Analisis GC-MS	63
BAB V PENUTUP		65
5.1	Kesimpulan.....	65

5.2	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		71
	Tabel Perhitungan Performa Mesin	71
	Grafik Perbandingan Tekanan Silinder Terhadap Sudut Engkol.....	73
	Grafik Perbandingan Tekanan Silinder Terhadap Volume Silinder	74
	Grafik Pelepasan Panas (<i>Heat Release</i>) Mesin Diesel TV1	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses kerja motor diesel 4 tak.....	15
Gambar 2.2 Mesin Diesel TV 1	16
Gambar 3.1 Bom Kalorimeter.....	23
Gambar 3.2 Gelas Ukur	23
Gambar 3.3 Timbangan Digital	24
Gambar 3.4 Stopwatch.....	24
Gambar 3. 5 Magnetic Stirrer	25
Gambar 3. 6 Botol Plastik.....	25
Gambar 3. 7 Kertas Saring.....	26
Gambar 3. 8 Mesin Diesel TV1	26
Gambar 3. 9 Panel Mesin.....	27
Gambar 3. 10 Komputer	27
Gambar 3. 11 Pompa.....	28
Gambar 3. 12 Alat Uji Emisi Gas Buang.....	28
Gambar 3. 13 Minyak Kelapa Sawit.....	29
Gambar 3. 14 Metanol	29
Gambar 3. 15 Magnesium Oksida	30
Gambar 3. 16 Kalsium Karbonat	30
Gambar 3. 17 Kalsium Oksida.....	31
Gambar 3. 18 Akuades.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakterisasi Biodiesel Hasil Transesterifikasi B35.....	36
Tabel 4.2 Fraksi Massa Terbakar.....	44
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared	44
Tabel 4.3 Hasil pengujian Gas Chromatography Mass Spectrometry	64

DAFTAR SIMBOL

BHP	Daya efektif	kW
η_{vo}	Efisiensi Volumetrik	%
N	Putaran poros	Rpm
n	Jumlah putaran persiklus	-
FC	Konsumsi bahan bakar	kg/h
VGU	Volume gelas ukur	Cc
ρ_f	Massa jenis bahan bakar	kg/h
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
Ma	Laju aliran udara actual	kg/h
K	Koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter orifice	mm
h_o	Beda tekanan pada manometer	mmH ₂ O
ρ_a	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m ³
Mth	Laju udara secara teoritis	kg/h
V _s	Volume silinder	-
Ud	Massa jenis udara	kg/m ³
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
D	Diameter selinder	mm
η_{th}	Efisiensi thermis	%
s	Panjang langkah selinder	mm
z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-
Q _{tot}	Kalor total	kW
LHV _{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg

Kata Pengantar

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Kinerja Mesin Diesel TV-1 Menggunakan Biodiesel Hasil Transesterifikasi CPO Dengan Variasi Katalis ” yang mana merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kepada orang tua penulis, Bapak Anton Ruruk dan Ibu Martha Sallolo yang selalu mendampingi, memberi semangat, dan mendoakan setiap langkah dalam proses menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada peneliti sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT. selaku dosen pembimbing kedua saya yang telah membantu dan memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Ir. Baharuddin Mire, MT. selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan saran dan koreksi guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
6. Bapak Ir. Andi Mangkau, MT. selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan saran dan koreksi guna menjadikan penelitian ini lebih baik.
7. Segenap dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Kanda Surahman S.Pd., MT. selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar

yang senantiasa membantu dalam penelitian saya.

9. Saudara Andi Yusran Patiroi Mangkau selaku teman seperjuangan dan teman diskusi dalam penelitian ini.
10. Saudara-saudara seperjuangan BRUZHLEZZ'19 yang selalu ada menemani penulis dan juga menjadi tim *support*.
11. Keluarga Mahasiswa Kristen Oikumene (KMKO) yang menjadi tempat belajar dan berkarya selama masa-masa perkuliahan, terkhusus teman-teman GO DEEPER'19 yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan, yang selalu ada dalam suka maupun duka.
12. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terimakasih doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terimakasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, Februari 2024

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar minyak (BBM) adalah energi dengan konsumsi yang terbesar untuk saat ini di seluruh dunia. Meningkatnya konsumsi energi dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, mengakibatkan terjadinya krisis energi terutama bahan bakar minyak.

Persediaan bahan bakar minyak yang merupakan bahan bakar berbahan fosil sudah menjadi suatu kebutuhan primer masyarakat luas. Seiring berganti tahun dengan semakin tingginya tingkat kebutuhan, ketersediaan bahan bakar fosil pun kian menipis. Menipisnya pasokan bahan bakar fosil sebagai sumber energi merupakan ancaman bagi keberlangsungan hidup masyarakat terutama pada bahan bakar minyak. Hal tersebut memicu berbagai peneliti untuk melakukan penelitian dalam mencari bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan atau dapat diperbaharui. Bioenergi merupakan energi alternatif yang dimana bahan bakunya bersifat *renewable*. Salah satunya yaitu biodiesel.

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang dapat diperoleh dari minyak nabati maupun lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol. Biodiesel menghasilkan polusi yang lebih sedikit dari bahan bakar minyak bumi. Selain itu, biodiesel dapat digunakan tanpa memodifikasi ulang mesin diesel (Mardiah, Widodo, Trisningwati, & Purijatmiko, 2006)

Produksi biodiesel tentunya berkaitan dengan ketersediaan bahan baku, sampai sekarang bahan baku yang memenuhi standar kebutuhan kapasitas produksi adalah minyak kelapa sawit kasar (CPO). Saat ini Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir minyak kelapa sawit terbesar di dunia yang ditunjukkan oleh *share* ekspor Indonesia sebesar 45.50 % periode tahun 2001-2017 (Trade Map, 2018) dan ekspornya dapat mencukupi sekitar 37 % dari konsumsi global (Oil World, 2017). Sehingga dari jumlah CPO yang sangat melimpah tersebut dapat menghasilkan biodiesel dalam skala besar.

Pembuatan biodiesel pada dasarnya dilakukan secara (esterifikasi dan transesterifikasi). Untuk mengetahui karakterisasi yang optimal, maka penulis akan melakukan penerapan proses transesterifikasi dengan berbahan baku minyak kelapa sawit kasar (*Crude Palm Oil*) berbantuan katalis. Dengan Landasan ini, perlu dilakukan “Analisis Kinerja Mesin Diesel TV 1 Menggunakan Biodiesel Hasil Transesterifikasi CPO Dengan Variasi Katalis” sebagai upaya dalam peningkatan kualitas mutu dari karakterisasi minyak kelapa sawit kasar (*Crude Palm Oil*).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja pembakaran mesin yang menggunakan biodiesel dengan campuran katalis MgO, CaCO₃, dan CaO?
2. Bagaimana kinerja mesin yang menggunakan biodiesel dengan campuran katalis, MgO, CaCO₃, dan CaO?
3. Bagaimana opasitas yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel dengan rasio campuran katalis MgO, CaCO₃ dan CaO dari volume minyak sawit?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kinerja mesin yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel dengan campuran katalis MgO, CaCO₃, dan CaO.
2. Untuk menganalisis kinerja pembakaran yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel dengan campuran katalis MgO, CaCO₃, dan CaO.
3. Untuk menganalisis opasitas yang dihasilkan mesin yang menggunakan biodiesel dengan campuran katalis MgO, CaCO₃, dan CaO.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Jenis katalis yang digunakan adalah MgO, CaCO₃, dan CaO dengan rasio campuran 1% dari volume minyak sawit.

2. Rasio campuran biodiesel yang digunakan adalah 50% dari volume dexlite B35 dan 50% CPO hasil transesterifikasi.
3. Menggunakan mesin diesel tipe TV-1
4. Beban yang digunakan 5kg, 7kg dan 9 kg
5. Rasio kompresi yang digunakan adalah 14 dan 18

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, menambah pengetahuan tentang penggunaan biodiesel pada mesin.
2. Bagi pembaca, menambah bahan bacaan dan menambah ilmu pengetahuan tentang biodiesel
3. Bagi industri, dapat menjadi bahan referensi pemanfaatan biodiesel untuk diproduksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang diproduksi dengan reaksi transesterifikasi dan esterifikasi minyak tumbuhan atau lemak hewan dengan alkohol rantai pendek seperti metanol. Reaksinya membutuhkan katalis yang umumnya merupakan basa kuat, sehingga memproduksi senyawa kimia baru yang disebut metil ester (Van Gerpen, 2005). Kelebihan biodiesel dibandingkan dengan petrodiesel antara lain: (1) Biodiesel berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui; (2) Biodiesel memiliki kandungan aromatik dan sulfur yang rendah (Ma & Hanna, 1999); (3) Biodiesel memiliki cetane number yang tinggi (Zhang et al., 2003).

Saat ini, penggunaan biodiesel masih sulit bersaing dengan petrodiesel karena memiliki harga yang relatif lebih mahal. Walaupun demikian, dengan semakin meningkatnya harga petroleum dan ketidakpastian ketersediaan petroleum pada masa 3 yang akan datang, pengembangan biodiesel yang bersumber pada minyak tumbuhan menjadi salah satu alternatif utama karena memberikan keuntungan baik dari segi lingkungan maupun dari segi sumbernya yang merupakan sumber daya alam terbaharukan.

2.2 Minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*)

Minyak kelapa sawit atau *crude palm oil* (CPO) merupakan hasil proses pengepresan buah sawit (*mesocarp*) yang berwarna kuning jingga berbentuk cair. Minyak yang diekstrak dikenal sebagai minyak sawit mentah (CPO). Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (*Palm Kernel Oil*) yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Minyak kelapa sawit juga berbeda dengan minyak kelapa yang dihasilkan dari inti buah kelapa (*Cocos nucifera*). Sifat fisik CPO pada suhu 25°C memiliki densitas antara 0,909- 0,917 g/mL dan untuk suhu 55°C densitas CPO sebesar 0,888-0,892 g/mL (Wulandari dkk, 2011).

Minyak sawit termasuk minyak memiliki kadar lemak jenuh yang tinggi. Minyak sawit berwujud setengah padat pada temperatur ruangan dan memiliki

beberapa jenis lemak jenuh asam laurat (0,1%), asam miristat (1%), asam stearat (5%), dan asam palmitat (44%). Minyak sawit juga memiliki lemak tak jenuh dalam bentuk asam oleat (39%) asam linoleate (10%), dan asam alfa linoleate (0,3%). Asam palmitat merupakan asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki titik cair (*meelting point*) yang tinggi yaitu 64°C. Asam palmitat yang tinggi membuat minyak sawit lebih tahan terhadap oksidasi dibanding jenis minyak lain. Pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai biodiesel lebih prospektif karena minyak sawit bersifat *eadible oil* sehingga dapat dimanfaatkan juga untuk kebutuhan pangan Indonesia. Minyak kelapa sawit yang diproduksi tidak hanya digunakan sebagai biodiesel tetapi dapat digunakan juga untuk berbagai keperluan antara lain untuk bahan baku pangan dan industri kimia (Nur, 2021).

Minyak kelapa sawit kasar merupakan produk sampingan dari proses penggilingan kelapa sawit dan dianggap sebagai minyak kelas rendah dengan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi. Dengan produksi global tahunan atau setara dengan sekitar 39% dari produksi minyak nabati dunia, kelapa sawit telah mengalahkan kedelai selama 1 dekade terakhir menjadi tanaman minyak yang paling penting di dunia.

Pemanfaatan minyak kelapa sawit sebagai biodiesel lebih prospektif karena minyak sawit bersifat *eadible oil* sehingga dapat dimanfaatkan juga untuk kebutuhan pangan Indonesia. Minyak kelapa sawit yang diproduksi tidak hanya digunakan sebagai biodiesel tetapi dapat digunakan juga untuk berbagai keperluan antara lain untuk bahan baku pangan dan industri kimia.

2.3 Katalis

Katalis merupakan suatu bahan yang berfungsi dalam memproduksi biodiesel, tanpa katalis proses produksi biodiesel akan berlangsung sangat lambat serta membutuhkan suhu dan tekanan yang tinggi. Katalis merupakan suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri . Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi.

Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi.

Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk katalis heterogen yaitu bahwa katalis menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan katalis lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

2.4 Metanol

Metanol adalah sebuah bahan kimia yang tergolong dalam senyawa alkohol dengan rumus senyawa yang mencakup satu atom karbon dan empat atom hidrogen dan satu oksigen atau digambarkan dengan rumus kimianya adalah metil alkohol, (CH₃OH). Metanol memiliki berat sangat ringan, mudah menguap, tidak berwarna, hambar, mudah terbakar, cairan beracun dengan bau yang sangat samar. Digunakan sebagai zat pelarut dan juga sebagai bahan bakar alternatif.

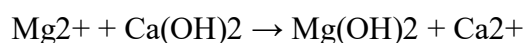
Sampel diproses menjadi biodiesel dengan metode transesterifikasi. Sampel dan metanol dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan variasi rasio mol reaktan (CPO : metanol) 1:3; 1:4; 1:5; 1:6. Katalis NaOH juga dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan nilai beratnya menjadi variabel tetap (1% wt). Campuran kemudian diaduk dengan menggunakan stirrer sambil dipanaskan menggunakan pemanas mantel dengan suhu dijaga 65°C selama 1 jam. Hasil reaksi kemudian dipisahkan antara produk atas dan bawah. Produk atas berupa metil ester dan produk bawah berupa gliserol. Lalu, metil ester dimasukkan kembali ke dalam corong pemisah untuk dilakukan proses pencucian. Akuades ditambahkan ke dalam corong pemisah dengan rasio 1:1 dengan sampel. Kemudian didiamkan sejenak hingga terbentuk lapisan air di bagian bawah. Lapisan air tersebut dikeluarkan. Hasil pencucian berupa metil ester

dikeluarkan ke dalam gelas beker, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama ±1 jam. Setelah 1 jam, hasil pencucian dikeluarkan dari oven. Metil ester hasil pengeringan tersebut didinginkan hingga suhu kamar (Encinar et al., 2002).

2.5 Magnesium Oksida

Magnesium oksida (MgO), atau magnesia adalah salah satu padatan mineral putih higroskopis yang terdapat di alam sebagai periklase dan merupakan sumber bagi magnesium. Senyawa ini memiliki rumus empiris MgO dan terdiri dari kisi ion Mg²⁺ dan ion O²⁻ terikat bersama melalui ikatan ionik. Magnesium hidroksida terbentuk dalam kehadiran air (MgO + H₂O → Mg(OH)₂), namun dapat dikembalikan melalui pemanasan untuk menghilangkan kelembapan, namun dapat dikembalikan melalui pemanasan untuk menghilangkan kelembapan.

Magnesium oksida dalam sejarahnya dikenal dalam magnesia alba (secara harfiah, mineral putih dari magnesia MgCO₃). Magnesium oksida normalnya merujuk kepada MgO, magnesium perioksida MgO₂ juga dikenal sebagai senyawa. Magnesium Oksida dihasilkan oleh kalsinasi dari magnesium karbonat atau magnesium hidroksida. Yang terakhir diperoleh dengan perlakuan larutan magnesium klorida, biasanya air laut, dengan kapur.



Kalsinasi pada suhu yang berbeda menghasilkan magnesium oksida dengan reaktivitas yang berbeda. Suhu tinggi 1500 - 2000 °C mengurangi luas permukaan yang tersedia dan menghasilkan magnesia terbakar habis, bentuk tidak reaktif yang digunakan sebagai refraktori. Suhu kalsinasi 1000 - 1500 °C menghasilkan magnesia keras terbakar, yang memiliki reaktivitas yang terbatas dan kalsinasi pada suhu yang lebih rendah, (700-1000°C) menghasilkan magnesia agak terbakar, satu bentuk reaktif, juga dikenal sebagai magnesia dikalsinasi kaustik. Meskipun beberapa dekomposisi dari karbonat menjadi oksida terjadi pada suhu di bawah 700 °C, material yang dihasilkan tampaknya menyerap kembali karbon dioksida dari udara (Zhu, Qiang; Oganov A.R.; Lyakhov A.O. 2013).

Katalis heterogen yang sering digunakan peneliti dalam proses transesterifikasi umumnya berupa oksida logam golongan alkali (Li, Na, K, Rb, Cs) dan golongan alkali tanah (Mg, Ca, Sr, Ba) dalam bentuk oksida seperti CaO. Sebagai contoh, katalis heterogen CaO-MgO ini mempunyai banyak keuntungan, yaitu aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi rendah, masa hidup katalis panjang, mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali, serta harga relatif murah (Suryandari dkk, 2013).

2.6 Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah senyawa yang terdapat dalam batuan kapur dalam jumlah besar. Senyawa ini merupakan mineral paling sederhana yang tidak mengandung silikon dan merupakan sumber pembuatan senyawa kalsium terbesar secara komersial (Othmer, 1965).

Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah zat yang pada umumnya ditemukan dalam batuan disemua bagian dunia. Terutama terdapat di batuan gamping yang tersusun oleh mineral kalsit, dimana hampir 90% batuan gamping terbentuk dari sedimen biokimia yang di sekresi marine dan sisanya mengandung sedimen kimia yang mengendap di dasar danau dan laut, batuan gamping anaorganik terbentuk ketika perubahan kimia atau temperature air yang meningkatkan konsentrasi kalsium karbonat ke titik pengendapannya. Kalsium karbonat memiliki kelompok mineral karbonat (CaCO_3) merupakan komponen utama dari cangkang organisme laut, siput, mutiara dan kulit telur. Bentuk yang paling umum yang terdapat di alam adalah kapur dan marmer, diproduksi oleh sedimentasi dari cangkang siput fosil kecil, kerang dan karang selama jutaan tahun (Pratama, 2014).

Kalsium karbonat umumnya diperoleh dari suspensi kapur pada dalam air dan gas karbon dioksida. Batu kapur terlebih dahulu dikalsinasi pada suhu $500 \pm 1050^\circ\text{C}$ dan kalsium oksida yang diperoleh dipadamkan dan diencerkan dengan air, kemudian disaring dengan ayakan yang ukuran lubangnya tertentu untuk mendapatkan suspensi yang memenuhi syarat. Kalsium karbonat (CaCO_3) biasanya digunakan dalam berbagai industri, contohnya cat, karet, kosmetik dan kertas karena mempunyai mutu yang tinggi terutama kemurnian dan kehalusannya kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu bahan yang

paling bermanfaat dan serbaguna yang dikenal manusia (Soemargono & Billah, 2007).

Pada pengujian awal pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis basa heterogen dapat dibuat melalui proses kalsinasi CaCO_3 . Proses kalsinasi kulit telur bertujuan untuk menghilangkan kandungan air, senyawa organik, serta karbon dioksida yang terdapat di dalam kulit telur. Air dan senyawa organik umumnya dapat dihilangkan dari kulit telur pada temperatur di bawah 600°C sementara karbon dioksida baru dapat dilepaskan dari kulit telur pada temperatur sekitar $700 - 800^\circ\text{C}$. Oleh karena itu, untuk mendapatkan katalis CaO yang baik dari kulit telur, temperatur kalsinasi yang digunakan harus di atas 800°C (Wei, et al., 2009).

2.7 Kalsium Oksida

Kalsium oksida (CaO), umumnya dikenal sebagai kapur atau dibakar kapur, adalah senyawa kimia secara luas digunakan. Ini adalah putih, kaustik, basa, kristal padat pada suhu kamar. Digunakan istilah "kapur" berkontaminasi bahan anorganik yang mengandung kalsium, silikon, magnesium, aluminium, dan besi mendominasi. Kalsium oksida yang bertahan pengolahan tanpa bereaksi dalam produk bangunan seperti semen disebut kapur bebas. Kalsium oksida memiliki satu kation dan satu anion. Kation kalsium dengan valensi +2 dan anion oksigen dengan valensi -2 membentuk molekul kalsium oksida. Ikatan antara molekul kalsium dan oksigen bersifat ionik.

Dalam senyawa CaO , kalsium dan oksigen bergabung secara kimiawi dan menghasilkan kalsium oksida, senyawa dengan banyak sifat unik yang memungkinkannya melakukan berbagai pekerjaan. Di antara barang yang paling umum dalam kehidupan sehari-hari adalah kalsium oksida, yang meningkatkan prospek relaksasi (Pandit, dkk 2018)

Kalsium oksida biasanya dibuat melalui dekomposisi termal bahan-bahan seperti batu gamping (*limestone*), atau cangkang kerang atau cangkang molluska lainnya, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3 ; mineral kalsit) sebagai kapur bakar (*lime klin*). Hal ini dilakukan dengan memanaskan material ini di atas 825°C , sebuah proses kalsinasi atau pembakaran kapur, untuk membebaskan molekul karbon dioksida (CO_2) meninggalkan kapur

mentah. CaO sebagai katalis biasanya dikaitkan dalam literatur sebagai katalis dengan peluruhan aktivitas katalitik dalam uji penggunaan kembali untuk reaksi transesterifikasi (Nunes dkk, 2020)

Tingginya jumlah metanol mendorong pembentukan metoksi pada permukaan CaO, yang mengarah ke pergeseran kesetimbangan ke arah depan, sehingga meningkatkan hasil biodisel hingga 95%. Namun, kenaikan lebih lanjut dalam rasio molar metanol : minyak, tidak mendorong reaksi. Hal ini menjelaskan bahwa gliserol sebagian besar akan larut dalam metanol yang berlebihan dan selanjutnya menghambat reaksi metanol dengan reaktan dan katalis, sehingga mengganggu pemisahan gliserin, yang pada akhirnya menurunkan hasil biodisel dengan menggeser kesetimbangan ke arah sebaliknya (Katsiroh & Kusmiyati, 2017).

2.8 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alcohol rantai pendek seperti methanol atau etanol. Transterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Mittlebatch, 2004).

2.9 Uji Karakterisasi

2.8.1 Massa Jenis (Densitas) M_a

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebihrendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah kg/m³. Massa jenis berfungsi untukmenentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama (Santoso, 2010).

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\rho = \frac{m_{sampel} - m_{aquades}}{v_{piknometer}} + \rho_{aquades} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.8.2 Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan–lapisan tipis *zatalir* yang bergerak dengan laju berbeda–beda sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dengan satuan poise. Viskositas juga bisa diartikan kemampuan suatu zat untuk mengalir pada suatu media tertentu. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan viskosimeter *Brookfield*.

2.8.3 Nilai Kalor

Nilai kalor atau heating value adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau persatuan massanya. Nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar menjai semaki sedikit. Nilai kalor bahan bakar ditentukan berdasarkan hail pengukuran dengan *calorimeter* yang dilakukan dengan membakar bahan bakar dan udara pada temperature normal, sementara itu dilakukan pengukuran jumlah kalor yang terjadi sampai temperature dari gas hasil pembakaran turun kembali ke temperature normal (Hassan, Hussein, dan Osman, 2010).

Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan calorimeter bom. Kalorimeter bom untuk pembakaran yang cepat terdiri dari ruang pembakaran (bom) dan *calorimeter* vessel, biasanya sebuah bejana silinder yang mengelilingi bom dan mengandung air yang diketahui kuantitasnya. Pembakaran dilakukan menggunakan oksigen. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik

dalam bilik yang disebut bom dan ditenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter naik. Pengukuran akan dipusatkan pada peningkatan suhu air. Untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan luar maka kalorimeter dilapisi oleh bahan yang bersifat isolator. Ruang pembakaran, baik pada tekanan konstan atau dengan volume konstan. Hasil yang diperoleh dengan kalorimeter pada volume konstan tidak persis sama seperti yang diperoleh pada tekanan konstan, tetapi untuk zat padat atau cair perbedaan terlalu kecil untuk dipertimbangkan (Arief, 2019).

Nilai kalor merupakan besarnya energi kalor yang diserap oleh air tiap satuan massa bahan bakar.

$$Q = m C \Delta T \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

$Q = \text{kalor yang diserap oleh air (kJ)}$

$m = \text{massa air (Kg)}$

$C = \text{kalor jenis air (kJ/KgK)}$

$\Delta T = \text{kenaikan temperatur air (K)}$

Massa air diketahui dari volume air dalam vessel kalorimeter. Air sebagai media penyerap kalor dan parameter utama pengukuran nilai kalor. Untuk 3700 ml air diketahui massanya seberat 3,7 kg pada massa jenis 1 kg/ltr. Nilai kalor jenis dari air merupakan ketetapan dengan nilai 4,18 kJ/kgK.

Nilai ΔT diperoleh dari pengukuran kenaikan temperatur air menggunakan termometer backman. ΔT merupakan selisih dari nilai temperatur maksimum yang dicapai dengan nilai pembacaan termometer di menit terakhir sebelum proses pembakaran. Koreksi radiasi dihitung dari rata-rata perubahan temperatur air sebelum bahan bakar terbakar dan setelah mencapai temperatur maksimum.

$$\text{Koreksi radiasi} = n \cdot v^1 + \left(\frac{-v + v^1}{2} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

n = jarak waktu dari pembakaran sampai temperature maksimum

v^1 = rata-rata penurunan temperatur pada akhir percobaan

v = rata-rata kenaikan temperatur pada awal percobaan

Hasil dari koreksi radiasi dijumlahkan dengan nilai ΔT untuk menghasilkan ΔT *corrected*

$$\Delta T \text{ corrected} = \Delta T + \text{koreksi radiasi}$$

Sehingga kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan mengalikan massa air dengan kalor jenis air dan kenaikan temperatur *corrected*. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor tiap satu gram bahan bakar, maka nilai Q_{air} dibagi dengan massa bahan bakar yang digunakan.

$$\text{nilai kalor bahan bakar} = \frac{\text{kalor yang diserap}}{\text{massa sampel bahan bakar}} \quad (2.6)$$

2.8.4 Titik Nyala (*Flash Point*)

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar akan terbakar dengan cepat (meledak). *Flash Point* menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi *flash point*, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Menurut Standar Nasional Indonesia memiliki batas standard minimal sebesar 1000C (Juanda, 2017).

2.10 Mesin Diesel

Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam di mana bahan bakar muatan udara dipicu oleh panasnya kompresi. Ini berbeda dari mesin yang dipicu busi di mana bahan bakar muatan udara dinyalakan oleh busi (Sean Bennett, 2010).

2.8.1 Siklus Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Siklus Kerja mesin Diesel 4 langkah, pada prinsipnya hampir sama dengan mesin Otto, dimana piston bergerak secara translasi dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dan sebaliknya berulang-ulang sebanyak 4 kali dalam satu siklus. Urutan Siklusnya sebagai berikut.

1. Langkah Hisap (*Intake*)

Langkah hisap yaitu ketika piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), pada saat ini kondisi katup hisap membuka dan katup buang menutup. Kondisi ini menyebabkan volume ruang bakar dan kevakuman meningkat sehingga campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang silinder atau pembakaran. Proses pemasukkan udara ke dalam ruang bakar diakibatkan oleh tekanan atmosfer di luar silinder lebih besar dibandingkan di dalam silinder, kemudian bahan bakar masuk dikarenakan kevakuman yang besar di ruang bakar.

2. Langkah Kompresi (*Compression*)

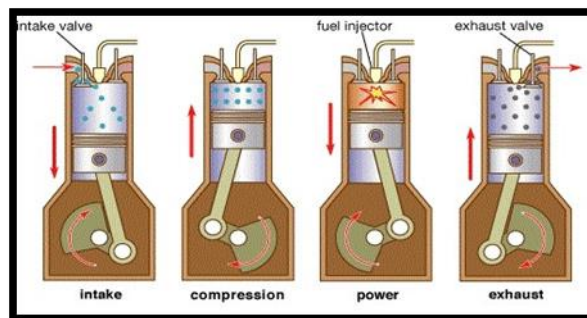
Langkah kompresi yaitu piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), katup hisap dan katup buang tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang silinder atau ruang bakar dikompresikan atau dimampatkan, proses ini terjadi dikarenakan adanya penyempitan ruangan yang terjadi sehingga tekanan dan suhu di silinder mengalami peningkatan.

3. Langkah Ekspansi (*Power*)

Langkah Ekspansi (*Power*) yaitu setelah bunga api membakar campuran bahan bakar dan udara terkompresikan, terjadilah ledakan yang berakibat tekanan dan suhu meningkat kondisi kedua katup menutup. Tekanan yang besar menggerakkan piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB).

4. Langkah Buang (*Exhaust*)

Langkah buang yaitu pada akhir langkah usaha, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), gas sisa hasil pembakaran dibuang menuju katup buang. *Overlapping* terjadi disaat katup buang dan katup hisap terbuka bersama-sama, kondisi ini memiliki tujuan untuk membantu proses pembilasan di dalam ruang silinder.



Gambar 2.1 Proses kerja motor diesel 4 tak

Sumber: Dody darsono, 2010. Simulasi CFD. FT UI

2.8.2 CVR (*Variable Compression Ratio*)

Mesin diesel terhubung ke dynamometer tipe arus eddy untuk memuat. Itu rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan block silinder miring yang dirancang khusus pengaturan. Pengaturan dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk tekanan pembakaran dan pengukuran sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator mesin untuk diagram $P\theta - PV$. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban. Pengaturan memiliki

panel yang berdiri sendiri kotak yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar unit, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan aliran air kalorimeter pengukuran. Pengaturan ini memungkinkan studi kinerja mesin VCR dengan *exhaust gas recirculation* (EGR) untuk daya rem, ditunjukkan daya, daya gesekan, *brake mean effective pressure* (BMEP), *indicated mean effective pressure* (IMEP), efisiensi termal rem, ditunjukkan efisiensi termal, efisiensi mekanik, efisiensi volumetrik, bahan bakar spesifik konsumsi, rasio A/F (*Air/Fuel*) dan keseimbangan panas. Performa Mesin Berbasis Lab view Paket perangkat lunak analisis "*Enginesoft*" disediakan untuk kinerja online evaluasi.



Gambar 2.2 Mesin Diesel TV 1

Mesin yang digunakan adalah silinder tunggal empat langkah, vertikal, berpendingin air, disedot alami, injeksi langsung mesin diesel. Transduser tekanan digunakan untuk memantau tekanan injeksi. Peralatan mesin dihubungkan dengan perangkat pengukuran emisi gas. Alat analisis gas, juga dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk mengukur tekanan melalui indikator sensor mesin perangkat lunak. Udara atmosfer memasuki intake manifold mesin melalui saringan udara dan kotak udara.

Udara sensor aliran dilengkapi dengan kotak udara memberi masukan untuk konsumsi udara ke sistem akuisisi data. Semua input seperti konsumsi udara dan bahan bakar, rem mesin daya, tekanan silinder dan sudut engkol direkam oleh sistem akuisisi data yang disimpan dalam komputer dan ditampilkan di monitor.

2.11 Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel

Pengendalian emisi polutan merupakan faktor utama dalam perancangan sistem pembakaran sekarang ini. Efek yang ditimbulkan oleh emisi gas buang dari mesin meliputi perubahan sifat atmosfer, merusak tumbuh tumbuhan dan material serta meningkatnya penyakit dan kematian manusia. Dalam pembakaran sempurna gas yang dihasilkan hanya berupa uap air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2). Tetapi pada proses yang sebenarnya oleh berbagai sebab, proses pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga menghasilkan emisi karbon monoksida (CO), hidroksida (HC) yang tidak terbakar, jelaga dan lain-lain. (Bennet,2010)

2.9.1 Emisi Nox

Nitrogen oksida (NO_x) terdiri dari nitrida oksida (NO) dan dioksida (NO_2). Proses pembentukan oksida nitrogen NO_x dapat terjadi dari dua sumber utama (Borman dan Ragland, 1998) yaitu thermal NO_x berasal dari gas Nitrogen yang terdapat dalam udara yang mengalami disosiasi pada temperatur tinggi akibat pembakaran dan fuel NO_x yang berasal dari senyawa nitrogen dalam bahan bakar. Dalam diesel NO_x akan banyak diproduksi dalam periode pembakaran cepat akibat terjadinya beban termal lokal dan juga temperatur yang sangat. Selain NO_x juga terbentuk SO_x yang merupakan produk alami dari proses pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur. Produk pembakaran ini sebagian besar akan berbentuk SO_2 dan sebagian kecil adalah SO_3 . Di dalam atmosfer SO_2 akan berubah lanjut menjadi SO_3 .

2.9.2 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon yang tidak terbakar (HC) umumnya dipengaruhi oleh proses pembakaran yang kurang sempurna di dalam ruang bakar. Emisi CO dari motor bakar

ditentukan terutama oleh equivalen rasio bahan bakar udara. Namun karena mesin diesel selalu dioperasikan pada daerah miskin campuran udara bahan bakar maka konsentrasi CO relatif rendah. Gas CO merupakan hasil oksidasi karbon dan apabila jumlah udara mencukupi akan terjadi oksidasi lanjut menjadi CO₂.

2.9.3 Emisi Hidrokarbon (HC)

Emisi hidrokarbon (HC) merupakan konsekuensi dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar hidrokarbon. Emisi HC bisa berbentuk bahan bakar yang belum atau dalam bentuk yang sudah terurai dan mempunyai nilai minimum pada daerah campuran kurus.

2.10 FT-IR (Fourier Transform Infrared)

FTIR dapat memberikan informasi mengenai komposisi asam lemak pada biodiesel. Profil spektrum FTIR dapat digunakan untuk menilai derajat kejenuhan asam lemak dalam biodiesel. Spektroskopi IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi tertentu dalam molekul biodiesel, seperti gugus ester (C=O), gugus alkena (C-H), dan gugus alifatik (C-H) [20]–[22]. Dalam analisis FTIR, pita puncak pada panjang gelombang tertentu menunjukkan adanya ikatan kimia atau gugus fungsi dalam molekul. Beberapa pita puncak yang relevan dalam analisis biodiesel melalui FTIR adalah:

1. C=O Pita Puncak Ester (1740-1750 cm⁻¹): Pita ini merupakan salah satu pita yang paling berkarakteristik dalam spektrum biodiesel. Puncak ini biasanya muncul pada rentang bilangan gelombang 1740-1750 cm⁻¹ dan menunjukkan adanya gugus fungsi ester (C=O) yang merupakan ciri khas metil ester asam lemak pada biodiesel.
2. Pita Puncak C-H Asam Lemak (2850-2950 cm⁻¹): Pita ini sesuai dengan ikatan C-H pada rantai asam lemak dalam biodiesel. Pita ini dapat memberikan informasi mengenai keberadaan rantai asam lemak pada molekul biodiesel.
3. Pita Puncak C-O Asam Lemak (1160-1180 cm⁻¹): Pita ini sesuai dengan ikatan C-O pada rantai asam lemak. Adanya puncak ini menegaskan adanya ikatan C-O pada struktur ester asam lemak biodiesel.

4. Pita Puncak Alkena C-H (3010-3100 cm⁻¹): Pita ini berhubungan dengan ikatan rangkap pada metil ester asam lemak yang dapat terdapat pada biodiesel.
5. Pita Puncak C-O-C Eter (1050-1150 cm⁻¹): Pita ini menunjukkan adanya ikatan C-O-C pada metil ester asam lemak dan dapat digunakan untuk memeriksa kemurnian biodiesel.
6. Pita Puncak C-H Alifatik (2850-2950 cm⁻¹): Pita ini sesuai dengan ikatan C-H pada rantai alifatik, yang juga terdapat pada komponen biodiesel.

2.11 GC-MS (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer)

Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (GC-MS) adalah metode analisis yang menggabungkan fitur kromatografi gas dan proses spektrometri massa untuk mengidentifikasi berbagai zat dalam sampel uji. Tujuannya adalah untuk memisahkan unsur-unsur kimia dari suatu senyawa tertentu dan mengidentifikasi kontribusinya pada tingkat molekuler. Untuk analisa, campuran dipanaskan agar dapat dipisahkan menjadi unsur-unsurnya. GC-MS dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai komponen dalam biodiesel, termasuk asam lemak metil ester (FAME) yang merupakan komponen utama biodiesel. GC-MS juga dapat digunakan untuk menilai kemurnian biodiesel dengan mengidentifikasi keberadaan kontaminan seperti air, senyawa yang tidak diinginkan, atau bahan asing lainnya. GC-MS dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa volatil yang mungkin terdapat pada biodiesel, yang dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran dan bau biodiesel. GC-MS dapat digunakan untuk mengukur kandungan sulfur pada biodiesel yang berimplikasi pada emisi gas buang dan emisi gas buang. penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar. Analisis GC-MS dapat digunakan untuk mendeteksi adanya pencampuran atau pencampuran dengan bahan bakar lain.

2.12 Dasar – Dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

Parameter-parameter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini adalah :

a. Daya Efektif

Daya efektif adalah daya poros yang digunakan untuk mengangkat beban pada mesin yang diperoleh dari hasil pengukuran torsi dikalikan dengan kecepatan sudut putaran mesin (RPM).

$$BP = \frac{T \cdot N}{9549,305} (kW)$$

Dimana :

BP = Daya Efektif

T = Torsi (N.m)

N = Putaran poros (RPM)

9459,305 = Konstanta dinamometer

b. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik menyatakan jumlah bahan bakar untuk menghasilkan suatu kW setiap satu satuan waktu pada beban tertentu. SFC merupakan parameter keekonomisan suatu motor bakar. Parameter ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SFC = \frac{FC}{BP} (kg/Kw.h)$$

Dimana:

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

c. Laju Aliran Udara Aktual (M_a)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya, digunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan dengan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara yang melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup di isap oleh mesin selama langkah pemasukan. Maka dari itu persamaan M_a adalah:

$$M_a = K_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}}$$

Dimana:

M_a = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

K_d = koefisien discharge oriface = (0,6)

D_o = diameter orifice, (mm)

C = kecepatan aliran udara, (m/s)

h_o = beda tekanan pada manometer (mmWC)

ρ_{ud} = massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m^3)

d. Laju Aliran Teoritis (M_{th})

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terisap selama langkah pemasukan, karena itu perlu diperhatikan berapa jumlah udara yang dikonsumsi selama pemasukan. Dalam keadaan teoritis, jumlah massa udara yang dapat masuk ke dalam ruangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{th} = \frac{V_s \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{K_a} \text{ (kg/h) dan } V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6}$$

Dimana:

V_s = volume selinder

10^{-3} = fakto konversi dari cc ke liter

N = putaran poros (rpm)

ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/m^3)

K_a = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)

d = Diameter selinder (87,5 mm)

s = panjang langkah silinder (110 mm)

z = jumlah selinder persiklus

e. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna. Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan akan sangat mempengaruhi laju dari pembakaran dan energi yang dihasilkan. Secara umum *air fuel consumption* dapat dihitung dengan persamaan:

$$AFR = \frac{M_a}{FC}$$

Dimana:

M_a = konsumsi udara aktual (kg/h)

FC = konsumsi bahan bakar (kg/h)

f. Efisiensi Volumetrik (η_{vol})

Efisiensi volumetris adalah perbandingan antara jumlah udara terisap sebenarnya pada proses pengisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian η_{vol} dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{vol} = \frac{M_a}{M_{th}} \cdot 100 (\%)$$

Dimana:

M_a = konsumsi udara aktual (kg/h)

M_{th} = konsumsi udara teoritis (kg/h)

g. Efisiensi Thermis (η_{th})

Efisiensi thermis didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang di ubah menjadi daya efektif dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam silinder. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. η_{th} dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} (\%)$$

$$Q_{tot} = \frac{FC \cdot LHV_{bb}}{3600} (kW)$$

Dimana:

Q_{tot} = kalor yang di suplai, (kW)

LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

3600 = faktor konversi jam ke detik

BP = daya efektif (kW)