

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan teknologi yang semakin pesat berbanding lurus dengan kemajuan pada sector pemesinan. Dalam dunia pemesinan terdapat banyak jenis mesin yang berkembang salah satu dari mesin tersebut adalah mesin diesel. seperti yang kita ketahui bersama bahwa mesin diesel salah satu mesin pembakaran internal dimana letak reaksi pembakaran terjadi didalam ruang bakar pada mesin secara tertutup. Mesin diesel bekerja dimana udara di yang dikompresi sehingga menghasilkan suhu yang cukup tinggi sehingga ketika bahan bakar di injeksikan, maka akan menghasilkan pembakaran secara sempurna sehingga membuat mesin dapat bekerja. Motor diesel adalah motor bakar torak yang proses penyalaannya bukan menggunakan loncatan bunga api melainkan ketika torak hampir mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar melalui nosel sehingga terjadilah pembakaran pada ruang bakar dan udara dalam silinder sudah mencapai suhu tinggi. Syarat ini dapat terpenuhi apabila rasio kompresi yang digunakan cukup tinggi, yaitu berkisar 16-25:1 (Fadly & Pakan, 2021).

Bahan bakar merupakan salah satu bahan yang dibutuhkan oleh mesin sehingga dapat bekerja. Bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin diesel memiliki nilai kalor yang lebih rendah. Karena jika nilai kalor yang tinggi yang berbanding lurus dengan titik nyala yang dimiliki bahan bakar, akan membuat bahan bakar terlalu cepat terbakar sebelum waktunya. Jika hal tersebut terjadi maka akan menghasilkan knocking atau ledakan dalam ruang bakar sehingga knocking dapat memperpendek umur mesin. Saat ini bahan bakar diesel yang sering kita jumpai di masyarakat adalah bahan bakar biosolar dan pertamina dex (Dexlite). setelah reaksi pembakaran terjadi maka akan menghasilkan gas yang dibuang pada saluran exhaust gas yang dibuang memiliki banyak jenis gas yang terkandung didalamnya. Gas yang dibuang memiliki temperature yang cukup beragam dalam hal ini dikenal dengan istilah exhaust gas temperature (EGT). Exhaust Gas Temperature sebagai identifikasi kandungan emisi Nox pada gas buang. Semakin tinggi exhaust gas temperature semakin tinggi pula Nox yang dihasilkan mesin. Nox merupakan gas mono-nitrogen oksida yang terbentuk dari reaksi nitrogen dan oksigen pada proses pembakaran dengan temperatur tinggi.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka diperlukan pengujian tentang besar pengaruh pembebanan kinerja mesin terhadap temperature gas buang yang dihasilkan. Maka dari itu, penulis akan melakukan sebuah penelitian yang berjudul **“ANALISIS KINERJA DAN TEMPERATUR GAS BUANG PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1 DENGAN VARIASI BAHAN BAKAR BIO SOLAR DAN DEXLITE MENGGUNAKAN EXHAUST GAS CALORIMETER EDIBON”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja mesin dan efisiensi kalor mesin diesel TV-1 berbahan bakar bio solar dan dexlite menggunakan exhaust gas kalorimeter?

2. Bagaimana temperature gas buang yang dihasilkan mesin diesel TV-1 dengan menggunakan bahan bakar bio solar dan dexlite exhaust gas kalorimeter?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kinerja dan efisiensi kalor yang dihasilkan mesin diesel TV-1 berbahan bakar biosolar dan dexlite menggunakan exhaust gas kalorimeter.
2. Untuk menganalisis temperatur gas buang yang dihasilkan diesel TV-1 dengan menggunakan bahan bakar bio solar dan dexlite dengan menggunakan exhaust gas kalorimeter.

3. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Mahasiswa, sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Akademik
 - a. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dilingkup Departemen Teknik Mesin.
 - b. Merupakan pustaka tambahan untuk menunjang proses perkuliahan

1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Tipe Bahan bakar yang digunakan adalah bio solar dan dexlite
2. Rasio kompresi 14 dan 18
3. Menggunakan mesin diesel TV-1
4. Beban yang digunakan sebesar 6, 8 dan 12 kg
5. Menggunakan 3 variasi laju aliran air 2, 4 dan 5 l/min

1.5 Landasan Teori

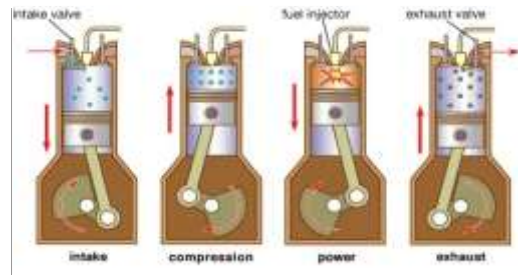
1.5.1 Mesin Diesel

Motor diesel atau mesin diesel merupakan salah satu jenis mesin pembakaran dalam / internal combustion engine (ICE) karena pengubahan tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik dilaksanakan di dalam mesin itu sendiri. Di dalam mesin diesel terdapat silinder yang di dalamnya terdapat piston yang bergerak bolak-balik (translasi). Di mesin diesel terdapat silinder yang di dalamnya terdapat piston yang bergerak bolak-balik (translasi). Di dalam silinder itu terjadi pembakaran antara bahan bakar solar dengan oksigen yang berasal dari udara. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran mampu menggerakkan piston yang dihubungkan dengan poros engkol (crank shaft) oleh batang penggerak (connecting rod). Gerak translasi yang terjadi pada piston menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya

gerak rotasi tersebut mengakibatkan gerak bolak-balik piston (Ma'muri, Kuncoro, & Wisnugroho, 2016).

1.5.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel 4 langkah bekerja bila melakukan empat kali gerakan (dua kali putaran engkol) menghasilkan satu kali kerja. Secara skematik, prinsip kerja mesin diesel 4 langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 1. Proses motor diesel 4 tak

(Sumber: Ma'muri, Ari Kuncoro, Susilo Wisnugroho., 2016, Universitas Muhammadiyah Jakarta)

1. Langkah hisap (suction stroke)
Pada langkah ini piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah), katup masuk (intake valve) membuka dan katup buang (exhaust valve) tertutup. Udara mengalir masuk ke dalam silinder.
2. Langkah rasio kompresi (compression stroke)
Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TMB ke TMA menekan udara yang ada dalam silinder sehingga tekanan dan temperaturnya naik. 50 sebelum mencapai TMA, bahan bakar di injeksikan melalui nozzle dalam tekanan tinggi.
3. Langkah ekspansi (power stroke)
Karena injeksi bahan bakar ke dalam silinder yang bertemperatur tinggi, bahan bakar terbakar dan berekspansi menekan piston untuk melakukan kerja sampai piston mencapai TMB. Kedua katup tertutup pada langkah ini.
4. Langkah buang (exhaust stroke)
Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Ketika piston bergerak menuju TMA sisa pembakaran terbuang keluar ruang bakar. Akhir langkah ini adalah ketika piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang lagi (Ma'muri, Kuncoro, & Wisnugroho, 2016).

1.5.3 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah ukuran banyak sedikitnya bahan bakar yang digunakan suatu mesin untuk diubah menjadi panas pembakaran dalam jangka waktu tertentu. Campuran bahan bakar yang dihisap masuk dalam silinder akan mempengaruhi tenaga yang dihasilkan karena jumlah bahan bakar yang akan di bakar menentukan besar panas dan tekanan akhir pembakaran yang digunakan untuk mendorong torak dari TMA ke TMB pada saat langkah usaha. Kualitas bahan

bakar dapat juga dipakai untuk mengetahui prestasi unjuk kerja mesin. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar yang ekonomis karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Proses pembakaran sangat berlawanan dengan pembakaran tidak sempurna. Bahan bakar yang masuk ke silinder tidak seluruhnya dapat diubah menjadi panas dan tenaga sehingga untuk mencapai tingkat kebutuhan panas dan tekanan pembakaran yang sama diperlukan bahan bakar yang lebih banyak (Suwanto & Basri, 2018).

1.5.4 VCR (*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 blok 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 $P_0 - P_V$. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban.



Gambar 2. Proses motor diesel 4 tak
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

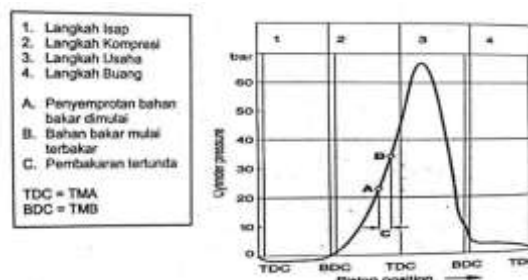
Pengaturan memiliki panel yang berdiri sendiri kotak yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar unit, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan 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.

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. Thermocouple dengan indikator suhu terhubung pada pipa knalpot untuk mengukur suhu knalpot gas.

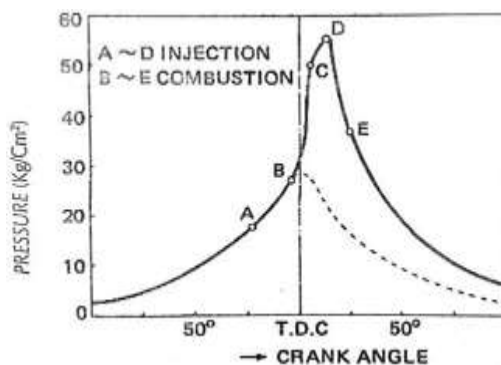
1.5.5 Proses Pembakaran Mesin Diesel

1.5.5.1 Diagram Pembakaran



Gambar 3. Tekanan Pembakaran pada Motor Diesel
 (Sumber: Rabiman and Z. Arifin, Sistem Bahan Bakar Motor Diesel, First. Yogyakarta, 2015)

Pada waktu pompa injeksi mulai menginjeksikan bahan bakar maka akan terjadi proses yang disebut dengan penundaan pembakaran antara awal menyemprotkan dengan mulainya bahan bakar terbakar (A-B) atau sepanjang daerah C (gambar 3). Saat bahan bakar mulai disemprotkan pada titik A (pada akhir langkah rasio kompresi) maka bahan bakar tidak akan langsung terbakar pada titik A tersebut, akan tetapi awal pembakaran baru terjadi pada titik B. Injector akan terus menyemprotkan bahan bakar sampai piston melewati TMA setelah langkah rasio kompresi atau awal langkah usaha.



Gambar 4. Tahapan Pembakaran pada Motor Diesel
(Sumber: Rabiman and Z. Arifin, Sistem Bahan Bakar Motor Diesel, First. Yogyakarta, 2015)

Berikut ini tahapan pembakaran pada motor diesel, yaitu:

1. Pembakaran tertunda (A-B)
Tahap ini merupakan tahap persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran akan dimulai pada titik B, peningkatan tekanan terjadi secara konstan, karena piston terus bergerak menuju TMA.
2. Rambatan api (B – C)
Campuran yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata di seluruh bagian dalam ruang bakar. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (explosive). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula. Akhir tahap ini disebut tahap pembakaran letupan.
3. Pembakaran langsung (C-D)
Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung didalam udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka bahan bakar yang diinjeksikan akan langsung terbakar. Pada tahap ini pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga tahap ini disebut juga tahap pengontrolan bahan pembakaran.
4. Pembakaran Lanjutan (D-E)
Pada titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Pada periode ini sisa bahan bakar diharapkan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang.

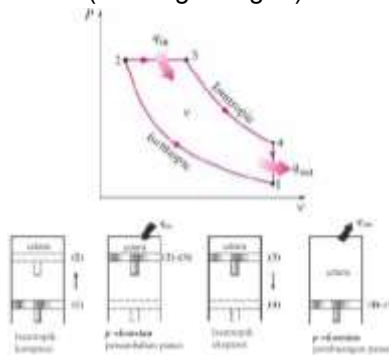
1.5.5.2 Siklus Udara Ideal

Penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja dianggap udara sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan (tidak ada bahan bakar).
2. Langkah isap dan buang pada tekan konstan.
3. Langkah rasio kompresi dan tenaga pada keadaan adiabatik.
4. Kalor diperoleh dari sumber kalor dan tidak ada proses pembakaran atau tidak ada reaksi kimia.

Siklus termodinamika dalam motor bakar terbagi menjadi tiga pokok bagian yaitu:

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



Gambar 5. Siklus Udara Tekanan Konstan

(Sumber: Basyirun, Winarno, and Karnowo, "Mesin Konversi Energi Universitas Negeri Semarang", 2008)

Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 2.5 adalah diagram P-V untuk siklus ideal Diesel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

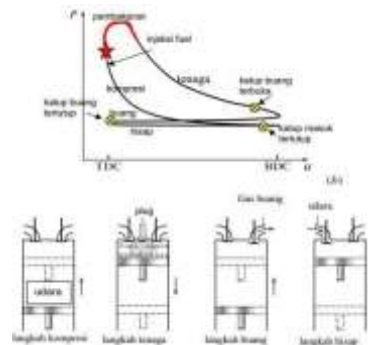
1. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
2. Langkah rasio kompresi (1-2) merupakan proses adiabatik.
3. Langkah kerja (3-4) merupakan proses adiabatik.
4. Langkah buang (1-0) merupakan proses tekanan konstan.

Dapat dilihat dari urutan proses di atas bahwa pada siklus tekanan konstan pemasukan kalornya pada tekanan konstan berbeda dengan siklus volume konstan yang proses pemasukan kalornya pada kondisi volume konstan. Siklus tekanan konstan sering disebut dengan siklus diesel. Rudolf Diesel yang pertama kali merumuskan siklus ini dan sekaligus pembuat pertama mesin diesel. Proses penyalaan pembakaran terjadi tidak menggunakan busi, tetapi terjadi penyalaan sendiri karena temperatur didalam ruang bakar tinggi karena rasio kompresi.

1.5.5.3 Siklus Aktual

Alasan yang sama dengan mesin bensin, dengan perbedaan pada disel pada langkah isap hanya udara saja, bahan bakar diseprotkan melalui nosel di kepala

silinder. Proses pembakaran untuk menghasilkan panas karena rasio kompresi, atau pembakaran rasio kompresi.



Gambar 6. Siklus Aktual Diesel

(Sumber: Basyirun, Winarno, and Karnowo, "Mesin Konversi Energi Universitas Negeri Semarang", 2008)

1.5.6 Bahan Bakar

Bahan bakar yaitu suatu materi apa pun yang dapat di ubah menjadi energi. Umumnya bahan bakar mengandung energi panas yang bisa dilepaskan serta dimanipulasi. Biasanya bahan bakar dipakai manusia lewat sistem pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar itu bakal melepaskan panas sesudah direaksikan dengan oksigen di udara (Nurahman, dkk., 2017). Sistem bahan bakar merupakan salah satu sistem penunjang mesin induk untuk kelancaran operasional sistem penggerak. Sistem bahan bakar memiliki peran sebagai penyuplai bahan bakar ke mesin induk dari tangki penampungan (storag tank) menuju mesin induk (Main Engine), Proses pembakarannya adalah terbakarnya kombinasi kimia antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen dalam udara dengan waktu yang relatif singkat dan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Pembakaran dalam Spark Ignition Engine (SIE) dimulai oleh adanya percikan bunga api listrik yang ditimbulkan oleh busi yang kemudian membakar campuran udara–bahan bakar yang mudah terbakar yang disuplai dan dicampur oleh karburator maupun injektor sehingga terjadi ledakan yang sangat hebat dalam ruang bakar pada motor tersebut. (Yaqin et al, 2020).

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (heavy oil) merupakan suatu campuran hydrocarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200 0C – 340 0C. Minyak solar yang digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus hetadecene (C₁₆H₃₄) dan alpha-melthinaphtalene. Sifat-sifat bahan bakar yang dapat mempengaruhi prestasi dari motor diesel antara lain: penguapan (volality), residu karbon, visikositas, belerang, abu dan endapan, titik nyala, titik tuang, sifat korosi, mutu nyala dan cetana number (Darmanto, 2006).

Menurut Maanen (1997: 1-9), akibat yang ditimbulkan dari pembakaran yang kurang sempurna adalah sebagai berikut:

1) Kerugian panas dalam motor menjadi besar Karena tidak seluruhnya bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor ke dalam silinder terbakar (sebagian terbakar atau terbuang melalui cerobong) sehingga panas yang dihasilkan menurun maka dari itu tenaga yang dihasilkan akan berkurang.

2) Sisa-sisa pembakaran akan melekat pada lubang isap dan pembuangan antara katup dan dudukanya, terutama pada katup buang sehingga katup tidak dapat menutup rapat

3) Sisa-sisa pembakaran akan melekat pada dinding silinder dan kepala torak, yang mana pada liner terdapat lubang sebagai tempat keluarnya minyak lumas sehingga jika ada jelaga yang diakibatkan oleh pembakaran tidak sempurna menutupi lubang tersebut maka pelumasan akan terganggu.

1.5.6.1 Dexlite

Dexlite adalah bahan bakar minyak terbaru Pertamina untuk kendaraan bermesin diesel di Indonesia. Dexlite sebagai varian baru bagi konsumen yang menginginkan BBM dengan kualitas di atas solar biasa (bersubsidi). Dexlite merupakan komposisi dari campuran biodiesel atau Fatty Acid Methyl Ester (FAME) sebanyak 20% dengan zat adiktif di dalamnya sehingga sulfur content mencapai 1.000 - 1.200, sedangkan solar biasa 48 mempunyai sulfur content 3.500 ini sesuai dengan kebijakan pemerintah terkait pencampuran bahan bakar nabati pada solar. Dexlite memiliki Cetane Number (CN) minimal 51 dan mengandung sulfur maksimal 1.200 part per million (PPM) (Suwanto & Basri, 2018).

1.5.6.2 Bio Solar

Biosolar merupakan termasuk ke dalam jenis bahan bakar alternatif yang terbuat atau tercipta dari campuran bahan bakar fosil yakni bahan bakar solar (diesel) dengan bahan jenis organik atau disebut juga sebagai biomassa, seperti minyak kelapa sawit, limbah tumbuhan, atau sampah organik.

Proses pembuatan dari bahan bakar biosolar melibatkan pengolahan bahan organik tersebut menjadi biofuel yang dapat dicampur dengan bahan bakar fosil. Campuran ini biasanya disebut juga dengan biodiesel atau biofuel. Biosolar ini dapat digunakan pada mesin-mesin yang biasa menggunakan bahan bakar fosil seperti diesel.

Pembuatan biosolar atau biodiesel tidaklah baru, karena sejarahnya dapat ditelusuri kembali ke awal abad ke-19, ketika beberapa orang mencoba membuat bahan bakar alternatif dari bahan-bahan organik, seperti minyak kacang tanah, minyak biji kapuk, atau minyak kacang kedelai. Namun, pada saat itu produksinya masih sangat terbatas dan tidak memiliki pengaruh besar terhadap pasar bahan bakar.

Pada tahun 1937, sebuah studi yang dilakukan oleh para peneliti Prancis menunjukkan bahwa proses transesterifikasi dapat digunakan untuk membuat ester metil dari minyak sayur, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Namun, karena sumber daya fosil masih melimpah pada waktu itu, penggunaan bahan bakar alternatif tidak dianggap sebagai prioritas.

1.5.7 Dasar-dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

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

1.5.7.1 Daya Efektif, BP (kW)

Daya 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) dan dapat dihitung menurut persamaan,

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Dimana:

BP	= Daya Efektif, (kW)
T	= Torsi (N.m)
N	= Putaran Poros, (rpm)
9549,305	= konstanta dynamometer

1.5.7.2 Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar menunjukkan jumlah pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan jalan mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang terdapat pada gelas ukur, dapat dihitung dari persamaan:

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Dimana:

FC	= Konsumsi Bahan Bakar Solar (kg/h)
VGU	= Volume gelas ukur
\rho f	= Massa jenis bahan bakar, (kg/h)
{10}^{-3}	= Faktor konversi cc ke {dm}^3
3600	= Faktor konversi detik ke jam

1.5.7.3 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)

1.5.7.4 Konsumsi Udara Aktual (Ma_{ac})

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 Ma adalah:

$$Ma = Kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{ho \cdot \rho_{ud}}$$

Dimana:

Ma = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

Kd = koefisien discharge oriface = (0,6)

Do = diameter orifice, (mm)

C = kecepatan aliran udara, (m/s)

ho = beda tekanan pada manometer (mmWC)

ρ_{ud} = massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m³)

1.5.7.5 Konsumsi Udara Teoritis (Ma_{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:

$$M_{th} = \frac{Vs \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{Ka} \text{ (kg/h)}$$

Dan

$$Vs = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6}$$

Dimana:

Vs = volume selinder

$\{10\}^{-3}$ = faktor konversi dari cc ke liter

N = putaran poros (rpm)

ρ_{ud} = massa jenis udara (kg/m³)

Ka = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)

d = Diameter silinder (87,5 mm)

s = panjang langkah silinder (110 mm)

z = jumlah selinder (1)

1.5.7.6 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:

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

Dimana:

Ma = konsumsi udara aktual (kg/h)

FC = konsumsi bahan bakar (kg/h)

1.5.7.7 Efisiensi Volumetris (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:

Ma = konsumsi udara aktual (kg/h)

Mth = konsumsi udara teoritis (kg/h)

1.5.7.8 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 selinder. 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 tanpa penambahan gas (kW)

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

3600 = faktor konversi jam ke detik

BP = daya efektif (kW)

1.5.7.9 Kalor yang hilang akibat pendinginan mesin (Q_{pm})

Mesin tv-1 menggunakan system pendinginan mesin agar tidak terjadi over heating yang dapat mengakibatkan mesin menjadi tidak strabil dan mengganggu jalan aktifitas kerja mesin akibat temperatur yang tinggi. Mesin tv-1 menggunakan air sebagai cairan pendinginan mesin. Sehingga perlu menghitung besar kalor yang dilepaskan oleh mesin ke air pendingin saat bekerja. Kalor yang hilang akibat pendinginan mesin dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Q_{pm} = q_{pm} \cdot C_{pw \text{ air}} \cdot (T_{pmo} - T_{pmi}) (kW)$$

Dimana:

Q_{pm} = Kalor yang hilang akibat pendinginan mesin (kW)

q_{pm} = massa air yang masuk kg/det

$$q_{pm} = \frac{WFH}{3600} \times \frac{\rho_{air}}{1000} \text{ Kg/det}$$

C_{pwair}	= total kalor air pendingin yang masuk
$C_{pw\ air}$	=4,1814 kJ/det
T_{pmi}	= Temperatur air sebelum pendinginan mesin °C
T_{pmo}	= Temperatur air setelah pendinginan mesin °C

1.5.7.10 Panas yang keluar dari gas buang (Qgb)

Gas sisa pembakaran yang dihasilkan oleh mesin kemudian dibuang melalui saluran exhaust pada mesin. panas yang dihasilkan dapat diukur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{gb} = \left(\frac{Ma_{act} + FC}{3600} \right) \cdot C_{p_{gb}} \cdot (T_{gb} - T_{db}) \text{ kW}$$

Dimana:

Q_{gb}	= panas yang keluar dari gas buang (kW)
Ma_{act}	= Laju aliran massa actual (kg/h)
FC	= Konsumsi bahan bakar (kg/h)
3600	=konversi dari jam ke detik
$Q_{p_{gb}}$	= kalor jenis gas buang
T_{gb}	= Temperatur gas buang
T_{db}	= Temperatur bola kering

1.5.7.11 Kehilangan Panas akibat factor lain (Qoth)

Saat mesin beroperasi, terhadap kehilangan panas akibat factor faktor yang tidak diketahui. Karna seluruh panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tidak seluruhnya ke unjuk kerja mesin, tetapi terdapat kalor yang di transfer akibat beberapa factor. Hal tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Q_{oth} = Q_{tot} - (BHP + Q_{pm} + Q_{gb})$$

Dimana:

Q_{oth}	= Kehilangan panas akibat factor lain (kW)
Q_{tot}	= Kalor total (kW)
BHP	= Daya Efektif (kW)
Q_{pm}	= Kalor yang hilang akibat pendinginan mesin (kW)
Q_{gb}	= Panas yang keluar melalui gas buang (kW)

1.5.7.12 Persentase BHP terhadap Qtot

untuk menghitung persentase kalor yang dibutuhkan daya efektif dari jumlah kalor total hasil pembakaran bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\%BHP = \frac{BHP}{Q_{tot}} \times 100\%$$

1.5.7.13 Persentase Qpm terhadap Qtot

Persentase kalor yang hilang akibat dari pendinginan mesin dari jumlah kalor total hasil pembakaran bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\%Q_{pm} = \frac{Q_{pm}}{Q_{tot}} \times 100\%$$

1.5.7.14 Persentase Qgb terhadap Qtot

Persentase panas yang dihasilkan dari sisa pembakaran atau panas dari gas buang dari jumlah kalor total hasil pembakaran bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\%Q_{gb} = \frac{Q_{gb}}{Q_{tot}} \times 100\%$$

1.5.7.15 Persentase Qoth terhadap Qtot

Persentase panas yang hilang akibat faktor lain dari jumlah kalor total hasil pembakaran bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\%Q_{oth} = \frac{Q_{oth}}{Q_{tot}} \times 100\%$$

1.5.8 Computer Controlled Exhaust Gas Calorimeter

Computer controlled exhaust gas calorimeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui besar kandungan panas yang dihasilkan dari gas buang mesin yang diuji, dapat mengukur keseimbangan panas dan energi dari mesin, mengukur kalor yang dihasilkan dari gas buang sisa pembakaran dan untuk menentukan kapasitas panas spesifik yang dihasilkan oleh gas buang. Alat ini bekerja menggunakan air sebagai media ukur transfer panas yang dihasilkan dari gas buang. Gas buang mesin diesel (asap) sangat dominan dalam pencemaran udara. Campuran udara rasio kompresi dengan bahan bakar yang tidak sebanding dapat menghasilkan partikulat yang berlebih pada gas buang.



Gambar 7. Computer controlled exhaust gas calorimeter

(**Sumber:** <https://www.edibon.com/id/unit-komputer-kontrol-kalorimeter-saluran-buang-gas#descripciongeneral>, diakses pada 19,09,2024)

Pembakaran dari minyak fosil telah memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kualitas kebersihan udara juga semakin menurun. Pembakaran yang tidak sempurna didalam ruang bakar kendaraan mesin yang dapat menghasilkan gas buang CO (Carbon Monoksida), HC (Hydro Carbon), CO₂ (Carbon Dioksida) dan NO_x (Nitrogen Oksida).

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2024 di Laboratorium Internal Combustion Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Jalan poros Malino, Km.6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. *Set Exhaust Gas Calorimeter*

Exhaust Gas Calorimeter Berfungsi sebagai unit penempatan sensor, pengatur laju aliran air dan jalur masuk gas buang.



Gambar 8. *Exhaust Gas Calorimeter*

2. *Control Interface Box*

Control Interface Box berfungsi sebagai unit pengelola data sensor.



Gambar 9. *Control Interface Box*

3. Komputer

Komputer berfungsi sebagai unit untuk mengoperasikan software yang berfungsi untuk membaca data yang berasal dari Control Interface Box.



Gambar 10.Komputer

4. Mesin Diesel TV-1

Mesin pengubah energi kalor (panas) dari bahan bakar menjadi energi mekanik (gerak). Adapun spesifikasi mesin: 1 silinder, 4 langkah, berpendingin air, langkah 110 mm, menghasilkan 87,5 mm. Kapasitas 661 cc, Daya 3.5 kW pada 1500 rpm modifikasi rasio kompresi rasio mesin 12 sampai 18.



Gambar 11. Mesin Diesel TV-1

5. Control Panel Mesin

Control Panel adalah peralatan yang berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan beban listrik dengan mengontrol secara manual. Komponen dalam panel kontrol antara lain : Tombol Tekan ON (Push button on), Tombol tekan OFF (Push button off), Lampu indikator..



Gambar 12. Control Panel

6. Komputer

Komputer berfungsi sebagai alat baca dan pengolah data dengan aplikasi engine soft yang bertujuan untuk mengamati kinerja mesin.



Gambar 13. Komputer

7. Pompa

Pompa berfungsi untuk memompa air dari bak penampungan. Tipe pompa yang digunakan adalah tipe mono blok.



Gambar 14. Pompa

2.2.2 Bahan

1. Dexlite

Pada penelitian ini menggunakan dexlite sebagai bahan bakar utama motor diesel.



Gambar 15. Kayu Cemara Gunung

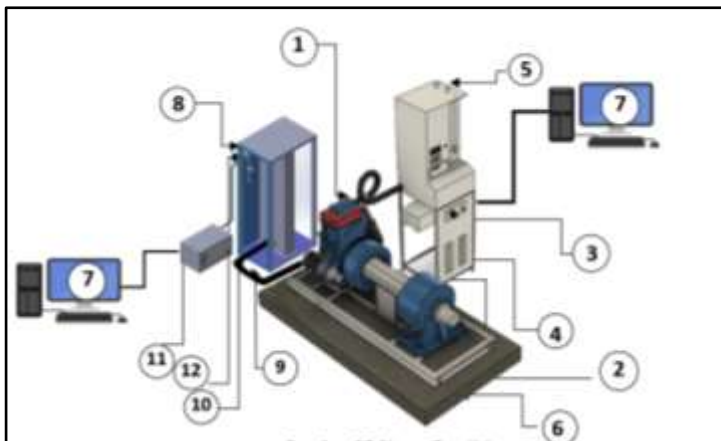
2. Bio Solar

Pada penelitian ini juga menggunakan bio solar sebagai bahan bakar motor diesel.



Gambar 16. Bio Solar

2.3 Skema Penelitian



Gambar 17. Skema Penelitian

Keterangan:

1. Mesin TV-1
2. Dinamometer
3. Panel
4. Pengontrol Beban
5. Tangki Bahan Bakar
6. Base
7. Komputer (Pembaca
8. Parameter Kinerja Mesin)
9. Exhaust Gas Calorimeter
10. Knalpot
11. Saluran air masuk
12. Control Interface Box
13. Katup Aliran air masuk

2.4 Metode Pengumpulan Data

2.4.1 Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi Lapangan (*Field Research*), diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

2.4.2 Studi Pustaka (*Library Research*)

Studi kepustakaan (*library research*) yaitu dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur sertacatatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga

2.5 Prosedur Penelitian

2.5.1 Persiapan Penelitian

1. Mengecek kondisi mesin dalam keadaan normal
2. Pengecekan kondisi saluran bahan bakar
3. Melakukan pemasangan selang ke set exhaust gas calorimeter.
4. Melakukan pemasangan saluran air dari keran ke inlet set gas calorimeter.
5. Mempersiapkan bahan uji coba berupa bahan bakar bio solar dan dextrite.
6. Menekan tombol power pada indicator sensor set exhaust gas calorimeter.
7. Pengecekan alat ukur apakah telah terhubung dengan baik dan berfungsi dengan baik

2.5.2 Pengujian

A. Pengambilan Data Menggunakan Komputer

Pada proses pengambilan data menggunakan alat VCR engine set up yaitu alat uji mesin diesel model TV-1 dan TBMC CG, Adapun proses pengambilan data pada VCR engine set up sebagai berikut:

1. Persiapan Setiap Pengujian Mendidihkan Air
2. Mengecek kondisi mesin dalam keadaan normal
3. Pengecekan kondisi saluran bahan bakar
4. Melakukan pemasangan selang ke set exhaust gas calorimeter.
5. Memasukkan air pada saluran air pipa exhaust gas calorimeter sebanyak 13 liter
6. Melakukan pemasangan saluran air dari keran ke inlet set gas calorimeter.
7. Mempersiapkan bahan uji coba berupa bahan bakar bio solar dan dextrite.
8. Menekan tombol power pada indicator sensor set exhaust gas calorimeter.
9. Pengecekan alat ukur apakah telah terhubung dengan baik dan berfungsi dengan baik
10. Pengambilan Data Menggunakan Komputer
11. Pada proses pengambilan data menggunakan alat VCR engine set up yaitu alat uji mesin diesel model TV-1 dan TBMC CG, Adapun proses pengambilan data pada VCR engine set up sebagai berikut:
12. Menyalakan suplai listrik dan pastikan bahwa PPU (*Piezo Powerin Unit*), *DLU* (*Unit Pemuatan Dynamometer*), Indikator beban, dan voltmeter dihidupkan.

13. Menyalakan Komputer dan buka aplikasi "EngineSoft" (klik dua kali ikon "EngineSoft" di jendela desktop) Pilih "Model Mesin" buka "Configure" di View. Periksa konfigurasi nilai & konstanta sistem dengan nilai yang ditampilkan pada panel pengaturan engine. "Terapkan" perubahan, jika ada. Klik pada tab "PO-PV Graphs".
14. Menyalakan computer egc dan menekan tombol power on pada control interface box.
15. Padda computer egc, membuka software TBMC CG pada jendela desktop.
16. Mengklik start pada monitor lalu mengatur laju aliran air masuk pada katup inlet aliran air masuk dengan melihat laju aliran pada monitor kemudian Membuat folder perekaman data pada computer TBMC CG
17. Menghidupkan pompa air. Sesuaikan laju aliran "Rotameter (Engine)" ke 120-150 LPH dan "Rotameter (Calorimeter)" hingga 75-100 LPH dengan mengatur masing-masing globe valve disediakan di rotameter inlet. Pastikan air mengalir melalui dinamometer pada tekanan 0,5 hingga 1 Kg/.
18. Mempertahankan kenop DLU pada posisi minimum.
19. Mengubah posisi katup bahan bakar dari "Measuring" ke "Tank".
20. Membuka software pada komputer exhaust gas calorimeter.
21. Mengklik start pada monitor komputer msin tv-1 dan juga mengklik save data pada computer TMBC CG.
22. Melakukan proses perekaman data dengan parameter setiap 20 detik yang dilakukan selama 2 menit.
23. Menyalakan mesin dan biarkan berjalan pada kondisi ideal selama 4-5 menit.
24. Mengklik "Scan start" Mulai pada monitor.
25. Memastikan Kecepatan, Temperatur dan pembacaan Manometer benar ditampilkan di PC. Bacaan ini harus sesuai dengan yang ditampilkan di panel mesin.
26. Menambah beban pada mesin dengan memutar kenop pada DLU
27. dan pastikan bacaan pada indikator dan komputer sama.
28. Menyesuaikan kenop DLU dan untuk mengatur beban yang di inginkan. Tunggu 3 menit., memastikan bahwa beban konstan selama periode ini. Ubah posisi katup bahan bakar dari "Tank" ke "Measuring". Klik "Log on" dan pembacaan aliran bahan bakar AKTIF untuk 60 detik berikutnya. Selama 30 detik pertama masukkan jumlah aliran air pendingin yang masuk ke engine dan kalorimeter dalam LPH (dan rasio kompresi untuk mesin VCR). Klik "Oke" setelah merekam pembacaan bahan bakar. Masukkan nama file di mana catatan untuk disimpan. Data bacaan pertama sekarang disimpan. Ubah posisi katup bahan bakar dari "Measuring" ke "Tank".
29. Pada monitor TBMC CG mengklik stop data.
30. Mengulangi langkah di atas untuk berbagai beban, mis. 1,2,3,kg dan seterusnya (Untuk mesin VCR lakukan tidak melebihi beban 12 Kg), dan menutup katup regulator gas jika pengambilan data sudah selesai.
31. Setelah menyelesaikan semua pembacaan, hilangkan beban pada mesin dengan DLU, Klik"Pindai Berhenti" pada PC.

32. Mematikan engine dengan menekan tuas stop engine. Biarkan air pendingin bersirkulasi sekitar 5 menit untuk pendinginan mesin dan kemudian hentikan pompa.
33. Untuk mencetak hasilnya klik "Cetak" dan pilih opsi yang sesuai.
34. Mengklik "Tutup File" setelah mencetak & memeriksa. Klik "Keluar" dan kemudian matikan Komputer.

2.6 Diagram Alir

Sistematika dari penelitian ini dapat kita tinjau pada diagram alir sebagai berikut:

