

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA DAN KEPEKATAN GAS BUANG PADA
MESIN DIESEL TIPE TV-1 DENGAN PENAMBAHAN GAS
LPG PADA SALURAN *INTAKE* MENGGUNAKAN BAHAN
BAKAR DEXLITE**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD FIKRI HAERUDDIN

D021191064



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KINERJA DAN KEPEKATAN GAS BUANG PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1 DENGAN PENAMBAHAN GAS LPG PADA SALURAN INTAKE MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DEXLITE

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FIKRI HAERUDDIN

NIM D021191064

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal: 23 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ir. Andi Mangkau, MT.
NIP. 19611231 199002 1 003

Pembimbing Pendamping



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

Ketua Program Studi,



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.
NIP. 19770707 200501 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Fikri Haeruddin
NIM : D021191064
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“ANALISIS KINERJA DAN KEPEKATAN GAS BUANG PADA MESIN
DIESEL TIPE TV-1 DENGAN PENAMBAHAN GAS LPG PADA SALURAN
INTAKE MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DEXLITE”

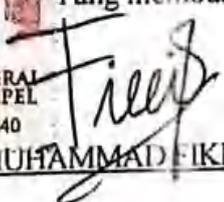
Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 23 Agustus 2024

Yang membuat Pernyataan,

METERAL TEMPEL
61337ALX324895840
MUHAMMAD FIKRI HAERUDDIN



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan skripsi dan penelitian ini tidaklah mudah, banyak hambatan dan masalah yang dihadapi hingga sampai ke titik ini. Namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak akhirnya penelitian dan skripsi ini telah selesai.

Dengan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS KINERJA DAN KEPEKATAN GAS BUANG PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1 DENGAN PENAMBAHAN GAS LPG PADA SALURAN *INTAKE* MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DEXLITE”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami penggunaan pemanas air tenaga matahari.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajaran staffnya.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Muhammad Syahid, ST., MT.**, selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan sebagai penguji yang telah memberikan masukan yang sangat berharga serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
4. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT.**, pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.**, selaku pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta motivasi mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
6. Seluruh dosen penguji, bapak **Ir. Baharuddin Mire, MT.** dan ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT.**, yang telah memberikan masukan yang sangat berharga dalam mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

terima kasih kepada seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.



Yang istimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Haeruddin** dan ibunda **Samsinar** yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama ini. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta, yang telah memberikan semangat, cinta, dan doa restu dari mereka tetap menjadi pendorong utama dalam setiap langkah penulis.
2. Kakak tercinta penulis yang telah memberikan semangat kepada penulis selama proses penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih dan juga kepada keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan moral dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh saudaraku **BRUZHLEZZ 2019**. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
4. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Motor Bakar yang setia menemani selama masa-masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
5. Kanda-kanda Senior serta dinda, penulis berterima kasih telah membantu pada proses perkuliahan maupun memberikan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Kepada Kanda **Surahman S.Pd, MT.** yang senantiasa selalu menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam menjalankan penelitian ini. Terkhusus kepada "**Warga Mobak**" yang telah memberi bantuan, motivasi, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Akhir kata semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Mesin.

Gowa, 23 Agustus 2024

Penulis



ABSTRAK

Mesin diesel adalah mesin pembakaran internal dimana udara dirasio kompresi ke suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar diesel yang disuntikkan ke dalam silinder, di mana pembakaran dan pemancaran menggerakkan piston yang mengubah energi kimia yang dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Pada mesin diesel bahan bakar berperan penting sebagai pendorong kinerja mesin diesel menjadi lebih maksimal Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan LPG pada mesin diesel dengan bahan bakar utama dexlite. Jumlah LPG yang ditambahkan ke dalam ruang bakar adalah 0,18 kg/jam, 0,32 kg/jam, dan 0,50 kg/jam. Dalam penelitian ini, penambahan LPG telah terbukti dapat mempersingkat jeda penyalaan pada proses pembakaran mesin diesel. Untuk analisis tekanan silinder maximum terjadi saat menggunakan bahan bakar dexlite dengan rasio kompresi 18 dan beban 9 kg. Pelepasan panas maximum terjadi pada rasio kompresi 14 dengan beban 7 kg dengan bahan bakar dexlite tanpa penambahan gas. Selain itu, penambahan LPG pada bahan bakar solar juga dapat meningkatkan daya efektif mesin diesel. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan LPG juga dapat mempengaruhi gas buang pada mesin diesel, di mana semakin banyak LPG yang ditambahkan, semakin tinggi pula tingkat opasitas yang dihasilkan.

Kata kunci : diesel, LPG, dexlite, daya, opasitas



ABSTRACT

Diesel engines are internal combustion engines where air is compressed to a sufficiently high temperature to ignite diesel fuel injected into the cylinder, where combustion and expansion drive the piston that converts the chemical energy in the fuel into mechanical energy. In diesel engines, fuel plays a crucial role in optimizing engine performance. The purpose of this research is to investigate the effect of adding LPG to diesel engines fueled primarily with dextrite. The amounts of LPG added to the combustion chamber are 0.18 kg/hour, 0.32 kg/hour, and 0.50 kg/hour. This study has demonstrated that adding LPG can shorten the ignition delay in the diesel combustion process. For the analysis of maximum cylinder pressure, it occurs when using dextrite fuel with a compression ratio of 18 and a load of 9 kg. Maximum heat release occurs at compression ratio 14 with a load of 7 kg using dextrite fuel without gas addition. Moreover, adding LPG to diesel fuel can also increase the effective power of the diesel engine. The research results also indicate that adding LPG can affect exhaust emissions in diesel engines, where higher levels of added LPG result in higher opacity levels.

Keywords: diesel, LPG, dextrite, power, opacity



DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Mesin Diesel	5
2.2 Proses Pembakaran Mesin Diesel.....	9
2.3 Bahan Bakar	14
2.4 Dasar-dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar	17
2.5 Kepekatan Gas Buang (Opasitas).....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Metode Pengambilan Data.....	28
3.4 Prosedur Penelitian	29
3.5 Skema Penelitian	32
Flowchart Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
Perhitungan Kinerja Mesin.....	34



4.2 Kinerja Pembakaran Mesin Diesel TV-1.....	42
4.3 Kinerja Mesin Diesel TV-1	50
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses motor diesel 4 tak	6
Gambar 2 Mesin Diesel TV-1	8
Gambar 3 Tekanan Pembakaran pada Motor Diesel	9
Gambar 4 Tahapan Pembakaran pada Motor Diesel	10
Gambar 5 Siklus Udara Tekanan Konstan	13
Gambar 6 Siklus Aktual Diesel	14
Gambar 7 Mixer Venturi	24
Gambar 8 Regulator gas	24
Gambar 9 Selang LPG	25
Gambar 10 Timbangan Digital	25
Gambar 11 Mesin Diesel TV1	26
Gambar 12 Control Panel	26
Gambar 13 Komputer	27
Gambar 14 Pompa	27
Gambar 15 Gas Analyzer	27
Gambar 16 Dexlite.....	28
Gambar 17 Liquified Petrol Gas.....	28
Gambar 18 Skema Penelitian	32
Gambar 19 Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 5 kg	42
Gambar 20 Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 7 kg	43
Gambar 21 Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 9 kg	43
Gambar 22 Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 5 kg	46
Gambar 23 Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 7 kg	47
Gambar 24 Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 9 kg	47



Gambar 25 Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 5 kg	48
Gambar 26 Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 7 kg	49
Gambar 27 Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 9 kg	49
Gambar 28 Analisis daya efektif berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas	50
Gambar 29 Analisis torsi berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas	51
Gambar 30 Analisis konsumsi bahan bakar spesifik berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas	52
Gambar 31 Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR) berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas LPG	53
Gambar 32 Analisis Efisiensi Volumetrik motor diesel berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas LPG	55
Gambar 33 Analisis Efisiensi Thermis motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas LPG	56
Gambar 34 Analisis Efisiensi Volumetrik motor diesel berbahan bakar dextrite dengan variasi rasio kompresi, beban dan penambahan gas LPG	58



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 5 kg	43
Tabel 2 Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 7 kg	44
Tabel 3 Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan rasio kompresi 16 pada beban 7 kg	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pelepasan Panas	64
Lampiran 2 Tekanan Silinder	67
Lampiran 3 Sudut Engkol	70
Lampiran 4 Fraksi Massa	73
Lampiran 5 Perhitungan	75
Lampiran 6 Data Kinerja Mesin	77
Lampiran 7 Perbandingan Kinerja Mesin	80
Lampiran 8 Opasitas	83



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti Singkatan	Satuan
BP	Daya efektif	kW
η_m	Efisiensi mekanis	%
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/m ³
SFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/h
Ma	Laju aliran udara aktual	kg/h
K	koefisien	-
C	kecepatan aliran udara	m/s
Do	Diameter orifice	mm
ho	Beda tekanan pada manometer	mmWc
ρ_a	Massa jenis udara pada kondisi masuk	kg/m ³
Mth	Laju udara secara teoritis	kg/h
Vs	Volume silinder	-
ρ_{ud}	Massa jenis udara	kg/m ³
Ka	konstanta untuk motor 4 langkah	-
d	Diameter selinder	mm
s	Panjang langkah selinder	mm
Z	Jumlah selinder	-
AFR	Rasio udara-bahan bakar	-
η_{vo}	Efisiensi volumetris	%



η_{th}	Efisiensi termis	%
Q_{tot}	Kalor total	kW
LHV _{bb}	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel adalah mesin pembakaran internal dimana udara dirasio kompresi ke suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar diesel yang disuntikkan ke dalam silinder, di mana pembakaran dan pemancaran menggerakkan piston yang mengubah energi kimia yang dalam bahan bakar menjadi energi mekanik (Armstrong, & Proctol, 2013). Motor diesel adalah motor bakar torak yang proses penyalannya 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).

Pada mesin diesel bahan bakar berperan penting sebagai pendorong kinerja mesin diesel menjadi lebih maksimal. Namun peningkatan jumlah kendaraan yang terjadi setiap tahun mengakibatkan konsumsi dan harga bahan bakar minyak bumi mengalami peningkatan, sedangkan persediaannya semakin menipis. Di sisi lain, masih tersedia cadangan bahan bakar gas yang cukup melimpah dengan harga yang relatif murah, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. *Liquified Petroleum Gas (LPG)* merupakan salah satu jenis bahan bakar gas paling potensial yang tersedia untuk *internal combustion engine* karena lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Dan adapun teknologi yang menjanjikan untuk digunakan pada motor pembakaran dalam adalah sistem *dual fuel* atau bahan bakar ganda (Korakianitis, dkk., 2011).

Sistem *dual fuel* merupakan salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk mendapatkan peningkatan performa pada mesin. Menurut (Kumar dkk., 2021) untuk pembakaran bahan bakar ganda, bahan bakar gas disuntikkan ke ruang bakar bersama udara dan dirasio kompresi seperti pada mesin tradisional. Ia dapat beroperasi dengan dua jenis bahan bakar yang berbeda secara bersamaan. Selama gerakan hisap, bahan bakar gas (LPG) disuntikkan bersama dengan udara masuk. Itu lebih tinggi (suhu



penyalaaan otomatis dan nilai oktan) LPG mencegahnya terbakar selama tahap rasio kompresi; dimana bahan bakar mudah terbakar bila dikombinasikan dengan bahan bakar lain memiliki suhu penyalaaan otomatis yang rendah, seperti solar.

Selain itu LPG juga mempunyai banyak manfaat seperti, oli mesin tidak diencerkan dengan gas sehingga dapat digunakan untuk jangka waktu yang lebih lama, kualitas anti-ketukan gas minyak bumi ditentukan oleh angka setana yang tinggi. LPG memiliki kapasitas kalori yang lebih besar dibandingkan solar sehingga memungkinkan untuk output mesin yang lebih besar dengan menggunakan lebih sedikit bahan bakar (Chaichan, 2011). Menggunakan bahan bakar diesel dengan gas meningkatkan umur mesin karena mengurangi emisi sulfur dioksida sehingga dapat mengurangi korosi (Saleh, 2008).

Dengan lebih banyak injeksi LPG meningkatkan kinerja dan mengurangi emisi gas buang. Dengan angka setana yang rendah, LPG hanya bisa digunakan sebagai bahan bakar ganda pada mesin diesel karena sulitnya memanfaatkan bahan bakar dalam jumlah besar (Sinaga dkk., 2019). Di sana ada beberapa manfaat mesin bahan bakar ganda, termasuk peningkatan efisiensi daya dan termal, serta pengurangan emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar spesifik rem dibandingkan dengan mesin bahan bakar tunggal (Kumar dkk., 2021).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penambahan *Liquified Petroleum Gas* (LPG) pada bahan bakar diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang dari mesin diesel. Maka dari itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS KINERJA DAN KEPEKATAN GAS BUANG PADA MESIN DIESEL TIPE TV-1 DENGAN PENAMBAHAN GAS LPG PADA SALURAN INTAKE MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DEXLITE”**



1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite ?
2. Bagaimana proses pembakaran mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite terhadap kepekatan gas buang mesin diesel TV-1 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kinerja mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite.
2. Untuk menganalisis proses pembakaran mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite.
3. Untuk menganalisis pengaruh penambahan gas LPG berbahan bakar dexlite terhadap kepekatan gas buang mesin diesel TV-1.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah Dexlite dengan campuran LPG pada saluran intake
2. Rasio kompresi 14, 16 dan 18
3. Menggunakan mesin diesel TV-1
4. Beban yang digunakan sebesar 5, 7, dan 9 kg
5. Menggunakan 3 pembukaan pada regulator gas, pada pembukaan I : 0,18kg/h, pembukaan II : 0,32kg/h dan pembukaan III : 0,50kg/h



1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh peforma mesin, proses pembakaran dan emisi gas buang mesin diesel TV-1 berbahan bakar Dexlite
2. Mengetahui pengaruh peforma mesin, proses pembakaran dan kepekatan gas buang mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG pada saluran *intake* berbahan bakar Dexlite.
3. Dimana dapat menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya, dan kemudian dapat dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Mesin Diesel

2.1.1 Definisi 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

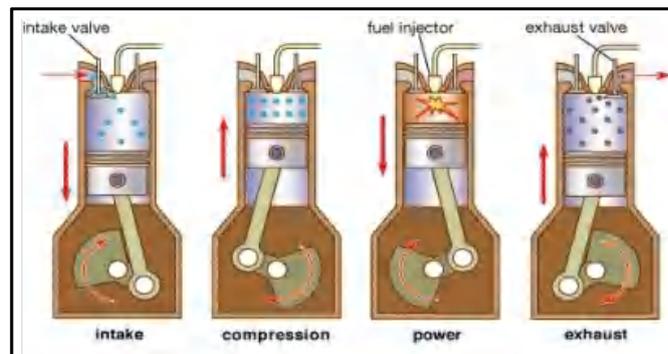
Perbedaan antara mesin bensin dan mesin diesel terletak pada sistem penyalaan. Penyalaan pada motor bensin terjadi karena loncatan bunga api listrik yang dipercikan oleh busi atau juga sering disebut juga *spark ignition engine*, sedangkan pada motor diesel tidak ada pengapian (*ignition*), penyalaan terjadi karena rasio kompresi yang tinggi di dalam silinder kemudian bahan bakar diinjeksikan oleh nozzle atau juga sering disebut *compression ignition engine* (Ma'muri, Kuncoro, & Wisnugroho, 2016).

2.1.2 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, katub buang terbuka, katub 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).



2.1.3 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).

2.1.4 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 P0 – 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 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.

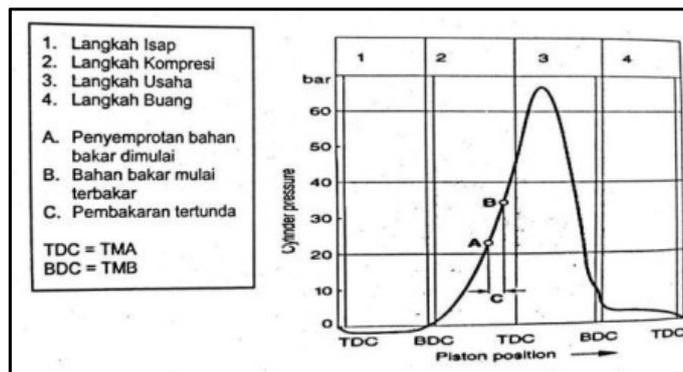
Udara sensor aliran dilengkapi dengan kotak udara memberi masukan untuk konsumsi udara ke sistem akuisisi data. Semua input



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

2.2 Proses Pembakaran Mesin Diesel

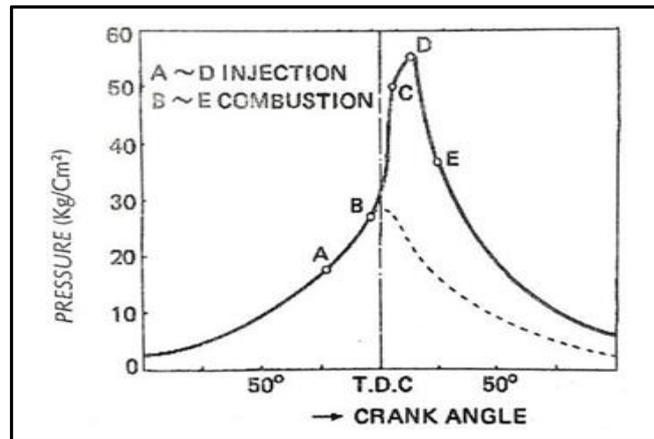
2.2.1 Diagram Pembakaran



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 2.3). 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



dikonrol 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 priode ini sisa bahan bakar diharapkan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang.

2.2.2 *Knocking* pada Motor Diesel

Apabila pembakaran tertunda diperpanjang atau lebih banyak bahan bakar yang tertunda, maka banyaknya campuran yang sedang terbakar akan berlebihan, terlalu lama perambatan api, akan menyebabkan terlalu cepat naiknya tekanan dalam silinder, sehingga akan menimbulkan getaran dan bunyi. Ini disebut *diesel knock*. Untuk mencegah *diesel knock* maka perlu dihindari meningkatnya tekanan secara tiba-tiba dengan adanya terbentuknya campuran yang mudah terbakar saat temperatur rendah. Dengan pembakaran diperpendek atau mengurangi bahan bakar yang diinjeksikan selama pembakaran tertunda. Untuk mengurangi *knock diesel*, terjadinya pengapian spontanitas dibuat lebih awal.

2.2.3 Jenis Pembakaran

Produk pembakaran campuran udara – bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

a. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)

Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara- bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.

b. Pembakaran tak sempurna

Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian



hidrokarbon terbakar maka aldehide, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.

Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen (NO dan NO₂). Di samping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida hologenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidrokarbon ringan yang teremisi dari bahan bakar.

2.2.4 Siklus Udara Ideal

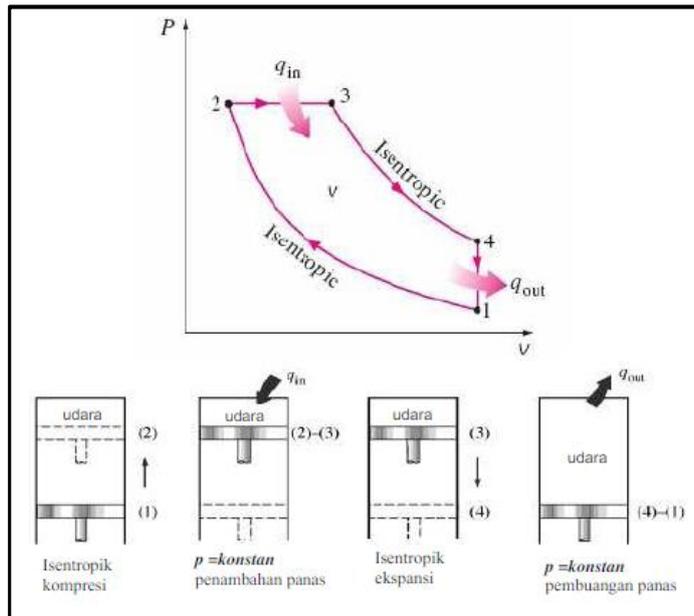
Penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja dianggap udara sebagai gas ideal dengan kalor sepesifik konstan (tidak ada bahan bakar).
2. Langkah isap dan buang pada tekan konstan.
3. Langkah rasio kompresi dan tenaga pada keadaan adiabetic.
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, 2008 Semarang, Universitas Negeri Semarang

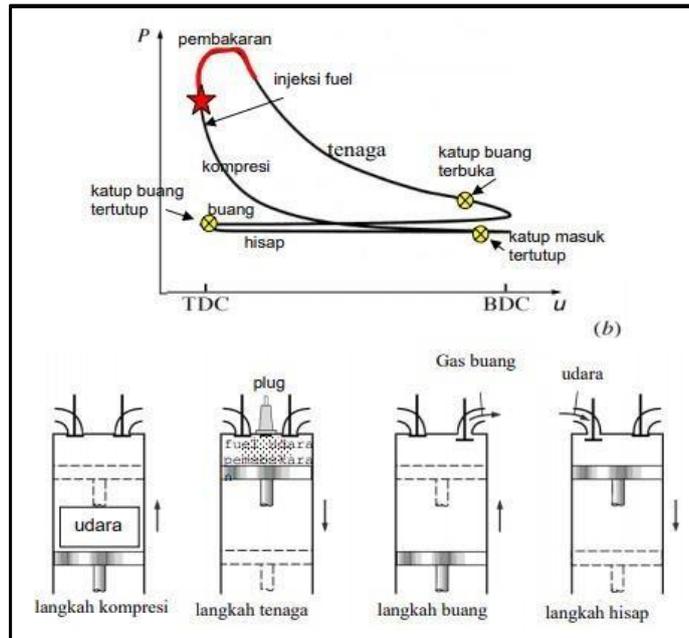
Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 2.5 adalah diagram P-V untuk siklus ideal Diesel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

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 diatas 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.



2.2.5 Siklus Aktual



Gambar 6 Siklus Aktual Diesel

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

Pada gambar 2.6 diatas adalah siklus aktual dari mesin diesel.

Alasan yang sama dengan mesin, 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.

2.3 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 penyimpanan (*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.

2.3.1 Dextrite

Dextrite adalah bahan bakar minyak terbaru Pertamina untuk kendaraan bermesin diesel di Indonesia. Dextrite sebagai varian baru bagi konsumen yang menginginkan BBM dengan kualitas diatas solar biasa (bersubsidi). Dextrite 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. Dxlite memiliki Cetane Number (CN) minimal 51 dan mengandung sulfur maksimal 1.200 part per million (PPM) (Suwanto & Basri, 2018).

2.3.2 Liquid Petrol Gas (LPG)

Secara umum, LPG merupakan salah satu produk hasil penyulingan minyak mentah berupa gas cair. Unsur utamanya berupa hidrokarbon ringan, seperti propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), serta terdapat juga sejumlah kecil etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}). Dari segi penggunaannya, LPG umumnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar industri dan rumah tangga. Bahkan, saat ini sudah ada kendaraan bermotor yang telah menggunakan gas terutama LPG sebagai bahan bakarnya. Namun perlu juga diketahui bahwa, sebelum LPG dipasarkan telah terlebih dulu ditambahkan zat pembau (penambah bau) yaitu senyawa merkaptan (ethyl mercaptan). Tujuan penambahan senyawa merkaptan ini adalah untuk mempermudah konsumen menyadari apabila terjadi kebocoran gas. Jadi, bila tidak ditambahkan zat tersebut maka akan sangat beresiko menimbulkan bahaya, karena sifat dari gas ini bila terlepas ke udara akan mudah menyebar dan mudah terbakar (Ma'muri, Kuncoro, & Wisnugroho, 2016).

LPG adalah bahan bakar gas alternatif yang layak (juga dikenal sebagai "Auto gas") yang merupakan produk gas dari penyulingan minyak bumi yang terutama terdiri dari propana, propilena, butana, dan hidrokarbon ringan lainnya. Ia dapat dicairkan dalam kisaran tekanan rendah 0,7–0,8 Mpa pada suhu atmosfer. Jadi, penyimpanan dan pengangkutan LPG lebih mudah dibandingkan bahan bakar gas lainnya. LPG memiliki nilai kalor yang tinggi dibandingkan bahan bakar gas lainnya serta memiliki angka oktan yang tinggi namun angka setana yang rendah. Angka oktan LPG yang tinggi membuatnya cocok untuk mesin pengapian busi. Sebaliknya, rendahnya angka setana LPG



membuatnya sulit untuk digunakan dalam proporsi besar pada mesin pengapian rasio kompresi, terutama karena variasi siklik yang tinggi. Oleh karena itu, mesin ini hanya dapat digunakan pada mesin CI dalam mode bahan bakar ganda dan dalam mode ini telah dipelajari secara ekstensif. Hal ini menghasilkan kinerja yang lebih baik, partikulat dan emisi asap yang rendah.

Mesin yang menggunakan bahan bakar diesel konvensional dan bahan bakar LPG ini disebut sebagai 'mesin bahan bakar ganda LPG–Diesel'. Pada mesin ini, bahan bakar LPG dicampur dengan udara di dalam mesin silinder baik melalui pencampuran langsung di intake manifold dengan udara atau melalui injeksi langsung ke dalam silinder. Mesin bahan bakar ganda pada dasarnya adalah mesin diesel yang dimodifikasi di mana bahan bakar LPG, yang disebut bahan bakar primer, diinduksi bersama dengan udara. Bahan bakar inilah yang menjadi sumber masukan energi utama pada mesin. Bahan bakar gas primer dirasio kompresi dengan udara, namun tidak terbakar secara otomatis karena suhu penyalannya yang tinggi. Sejumlah kecil solar, biasanya disebut pilot, diinjeksikan seperti pada mesin diesel normal di dekat akhir rasio kompresi campuran bahan bakar-udara primer. Bahan bakar diesel percontohan ini, menyala secara otomatis terlebih dahulu dan bertindak sebagai sumber penyalan yang disengaja untuk pembakaran campuran gas bahan bakar-udara (Ashok, Ashok. S, & Kumar, 2015).

2.4 Dasar-dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

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

- a. Daya Efektif (BP)
- b. Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi Udara Aktual (M_{ac})

Konsumsi Udara Teoritis (M_{tt})



- f. Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)
- g. Efisiensi Volumetris (η_{vol})
- h. Efisiensi Thermis (η_{th})s
- a. 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,

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

Dimana:

BP = Daya Efektif, (kW)

T = Torsi (N.m)

N = Putaran Poros, (rpm)

9549,305 = konstanta dynamometer

- b. Konsumsi Bahan Bakar, FC (kg/h)

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,

$$FC_S = \frac{V_{GU} \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$FC_{DG} = \frac{V_{GU} \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right) + FC_G$$

Dimana:

FC_D = Konsumsi Bahan Bakar Solar (kg/h)

FC_{DG} = Konsumsi Bahan Bakar Solar dengan penambahan gas (kg/h)

FC_G = Jumlah penambahan *Liquefied Petroleum Gas*

V_{GU} = Volume gelas ukur

ρ_f = Massa jenis bahan bakar, (kg/h)

10^{-3} = Faktor konversi cc ke dm^3



3600 = Faktor konversi detik ke jam

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, SFC ($kg/kW.h$)

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:

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

Dimana:

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

d. Laju Aliran Udara Aktual, M_a (kg/h)

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:

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

Dimana:

M_a = Laju Aliran Udara aktual (kg/h)

Kd = koefisien discharge orifice = (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)

e. Laju Aliran Udara Teoritis, M_{th} (kg/h)

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:

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

Dan,

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

Dimana:

- V_s = volume selinder
- 10^{-3} = faktor 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 (1)

f. 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)

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_{vo} dapat di rumuskan sebagai berikut:

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

Dimana:

M_a = konsumsi udara aktual (kg/h)

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

h. 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,

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

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

$$Q_{totDG} = \frac{(FC_s \cdot LHV_{bb}) + (FC_g \cdot LHV_{bb})}{3600} (kW)$$

Dimana:

Q_{tots} = kalor yang di suplai tanpa penambahan gas (kW)

Q_{totsg} = 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)

2.5 Kepekatan Gas Buang (Opasitas)

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. Untuk mengatur gas buang pada mesin diesel maka diadakan pengujian kepekatan gas buang atau opasitas. Kepekatan gas buang atau opasitas merupakan kemampuan



asap untuk meredam atau menghambat cahaya. Kepekatan gas buang 100% yaitu cahaya tidak dapat menembus asap sama sekali. Cahaya dapat menembus asap tanpa mengurangi intensitas cahaya maka kepekatan gas buang tersebut dinyatakan 0%.

Asap gas buang berwarna hitam pekat yang dihasilkan oleh mesin diesel sangat berbahaya karena membuat udara menjadi keruh dan dapat mengganggu pernafasan. Akan tetapi asap gas buang mesin diesel tidak menutup kemungkinan mengandung karsinogen, yang dapat menyebabkan penyakit kanker. Batas kepekatan gas buang dinilai secara objektif dan diukur secara kuantitatif. Pengukuran kepekatan gas buang dilakukan dengan menggunakan semacam kertas saringan yang dialiri asap gas buang. Warna yang terdapat pada kertas saringan tersebut dibandingkan dengan standard warna yang telah ditentukan kemudian dibaca hasilnya.

Asap atau gas buang hasil pembakaran dapat mengganggu pernafasan dan mengurangi jarak pandang mata. Partikulat padatan pada gas buang dapat menyerap dan memecah cahaya. Karena ukuran diameter partikulat yang sangat kecil yaitu sekitar $0,5-1\mu\text{m}$, oleh sebab itu partikulat dapat masuk kedalam paru-paru sampai ke bagian dalam dan akan mengganggu sistem pernafasan manusia.

Kepekatan gas buang atau opasitas yang dihasilkan oleh mesin diesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

a. Putaran mesin

Putaran mesin yang rendah cenderung menghasilkan asap yang lebih pekat, karena jumlah udara yang terasiasi kompresi tidak sebanding dengan jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder sehingga menimbulkan asap yang lebih pekat.

b. Kualitas bahan bakar

Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap kepekatan gas buang mesin diesel. Kualitas bahan bakar yang baik membuat proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Proses pembakaran yang sempurna



dapat menghasilkan asap yang tidak terlalu pekat sehingga tidak membuat udara menjadi keruh (Kamajaya, 2016).

