

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR  
SOLAR DENGAN PENAMBAHAN *LIQUEFIED PETROLEUM*  
GAS KE DALAM RUANG BAKAR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**I WAYAN ALDI GUNAWAN**

**D021191003**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR  
SOLAR DENGAN PENAMBAHAN *LIQUEFIED PETROLEUM*  
GAS KE DALAM RUANG BAKAR**

Disusun dan diajukan oleh

**I WAYAN ALDI GUNAWAN**  
**NIM D021191003**

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ir. Baharuddin Mire, MT.

NIP. 19550914 198702 1 001

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 SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : I Wayan Aldi Gunawan  
NIM : D021191003  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR SOLAR  
DENGAN PENAMBAHAN *LIQUEFIED PETROLEUM GAS* KE DALAM  
RUANG BAKAR ”

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.

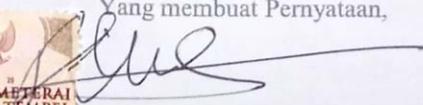
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul 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, 11 Mei 2024

Yang membuat Pernyataan,

  
D25ALX194986005 I WAYAN ALDI GUNAWAN

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran 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 MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR SOLAR DENGAN PENAMBAHAN *LIQUEFIED PETROLEUM GAS* KE DALAM RUANG BAKAR”, ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami pengaruh *Liquefied Petroleum Gas* terhadap kinerja mesin diesel.

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 **Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin Haddada, 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. Baharuddin Mire, 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. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT.**, sebagai penguji yang telah memberikan masukan yang sangat berharga serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Seluruh staff administrasi Departemen Teknik Mesin yang membantu mengurus dan memudahkan perjalanan berkas menuju Rektorat.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **I Wayan Soni** dan ibunda **Ni Komang Kiki** 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. Adik 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. Pemilik NIM **K011201205**, penulis berterima kasih banyak atas dukungan, motivasi serta doa yang diberikan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh saudaraku **BRUZHLEZZ 2019**. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat yang diberikan.
5. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Motor Bakar yang setia menemani selama masa-masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
6. Kanda-kanda Senior serta dinda, penulis berterima kasih telah membantu pada proses perkuliahan maupun memberikan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Kepada Kanda **Surahman S.Pd, MT.** yang senantiasa selalu menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam menjalankan penelitian ini.
8. 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, 11 Mei 2024



**Penulis**

## **ABSTRAK**

Mesin diesel telah menjadi komponen utama dalam industri transportasi dan produksi energi karena efisiensinya yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan LPG pada mesin diesel dengan bahan bakar utama solar. 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. Penambahan LPG pada bahan bakar solar mengakibatkan proses pembakaran terjadi pada tekanan yang lebih rendah, yang mengurangi jumlah panas yang dilepaskan oleh mesin diesel. Selain itu, penambahan LPG pada bahan bakar solar juga dapat meningkatkan daya efektif mesin diesel. Namun, penambahan LPG secara berlebihan dapat menyebabkan *knocking*. 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 : LPG, solar, daya, knocking, opasitas*

## **ABSTRACT**

Diesel engines have become a key component in transportation and energy production industries due to their high efficiency. The purpose of this study is to investigate the effect of adding LPG to diesel engines with solar fuel as the main fuel. The amount of LPG added to the combustion chamber is 0.18 kg/h, 0.32 kg/h, and 0.50 kg/h. In this research, the addition of LPG has been proven to shorten the ignition delay in the combustion process of diesel engines. Adding LPG to solar fuel results in combustion occurring at lower pressures, reducing the amount of heat released by the diesel engine. Furthermore, adding LPG to solar fuel can also increase the effective power of diesel engines. However, excessive addition of LPG can lead to knocking. The research results also indicate that adding LPG can affect the exhaust gas of diesel engines, where the more LPG is added, the higher the level of opacity produced.

*Keywords: LPG, solar, power, knocking, opacity*

## DAFTAR ISI

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
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	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 Opasitas .....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2 Alat dan Bahan .....	22
3.3 Metode Pengambilan Data .....	26
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.5 Skema Penelitian .....	29
3.6 Flowchart Penelitian.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Perhitungan Kinerja Mesin.....	31
4.2 Kinerja Pembakaran Mesin Diesel TV-1 .....	39
4.3 Kinerja Mesin Diesel TV 1.....	48
BAB V PENUTUP .....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Proses kerja Motor Diesel 4 Tak .....	5
<b>Gambar 2</b> Mesin Diesel TV1 .....	8
<b>Gambar 3</b> Tekanan Pembakaran pada Motor Diesel .....	9
<b>Gambar 4</b> Tahapan Pembakaran pada Motor Diesel .....	9
<b>Gambar 5</b> Siklus Udara Tekanan Konstan .....	12
<b>Gambar 6</b> Siklus Aktual Diesel .....	13
<b>Gambar 7</b> Spesifikasi Liquefied Petroleum Gas.....	16
<b>Gambar 8</b> Mixer Venturi .....	22
<b>Gambar 9</b> Selang LPG.....	22
<b>Gambar 10</b> Regulator Gas .....	23
<b>Gambar 11</b> Timbangan Digital.....	23
<b>Gambar 12</b> Mesin Diesel TV1.....	24
<b>Gambar 13</b> Panel Mesin .....	24
<b>Gambar 14</b> Komputer .....	24
<b>Gambar 15</b> Pompa .....	25
<b>Gambar 16</b> Alat Pengujian Emisi Gas Buang .....	25
<b>Gambar 17</b> Solar.....	25
<b>Gambar 18</b> Liquefied Petroleum Gas .....	26
<b>Gambar 19</b> Skema Penelitian .....	29
<b>Gambar 20</b> Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 6 kg .....	40
<b>Gambar 21</b> Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 8 kg .....	40
<b>Gambar 22</b> Perbandingan tekanan terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 10 kg .....	40
<b>Gambar 23</b> Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 6 kg.....	44
<b>Gambar 24</b> Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 8 kg.....	44

<b>Gambar 25</b> Perbandingan tekanan terhadap volume dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 10 kg.....	45
<b>Gambar 26</b> Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 6 kg .....	46
<b>Gambar 27</b> Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 8 kg .....	46
<b>Gambar 28</b> Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 10 kg .....	47
<b>Gambar 29</b> Analisis daya efektif berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas.....	48
<b>Gambar 30</b> Analisis torsi berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas .....	49
<b>Gambar 31</b> Analisis konsumsi bahan bakar spesifik berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas .....	50
<b>Gambar 32</b> Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR) berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG.....	51
<b>Gambar 33</b> Analisis Efisiensi Volumetrik motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG.....	53
<b>Gambar 34</b> Analisis Efisiensi Thermis motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG.....	54
<b>Gambar 35</b> Analisis Opasitas motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG .....	56
<b>Gambar 36</b> Analisis Emisi spesifik Opasitas motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG.....	57
<b>Gambar 37</b> Analisis Emisi spesifik Opasitas motor diesel berbahan bakar solar dengan variasi kompresi, beban dan penambahan gas LPG.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 6 kg.....	41
<b>Tabel 2</b> Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 8 kg.....	41
<b>Tabel 3</b> Fraksi massa terbakar dengan variasi penambahan gas menggunakan kompresi 16 pada beban 10 kg.....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Pelepasan Panas .....	63
<b>Lampiran 2</b> Tekanan Silinder .....	66
<b>Lampiran 3</b> Fraksi Massa Pembakaran .....	69
<b>Lampiran 4</b> Sudut Engkol.....	71
<b>Lampiran 5</b> Data Perhitungan .....	71
<b>Lampiran 6</b> Data Kinerja Mesin .....	73
<b>Lampiran 7</b> Perbandingan kinerja mesin diesel .....	76
<b>Lampiran 8</b> Opasitas.....	79
<b>Lampiran 9</b> Dokumentasi .....	81

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Mesin diesel adalah mesin pembakaran internal dimana udara dikompresi ke suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar diesel yang disuntikkan ke dalam silinder, dimana 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 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).

Mesin diesel kini disukai di banyak industri karena ekonominya yang besar, efisiensi yang lebih tinggi, keunggulan emisi HC dan CO yang lebih rendah, serta biaya bahan bakar yang rendah. Mesin diesel memberikan sejumlah manfaat, termasuk output tinggi, umur panjang, emisi karbon minimal monoksida, dan biaya kepemilikan yang rendah. Terlepas dari ukurannya kendaraan, mereka banyak digunakan. Jika dibandingkan dengan mesin lainnya, mesin diesel (CI) meningkatkan efisiensi termal, daya tahan, dan output daya. (Mohsen, M. J. dkk., 2023).

Bahan bakar merupakan suatu zat yang dapat dikonversi kedalam bentuk energi panas atau termal. Terdapat 3 jenis bahan bakar saat ini yaitu bahan bakar pada, cair dan gas. Bahan bakar gas (BBG) merupakan bahan bakar dengan kandungan utama berupa gas metana. Jika bahan bakar gas diaplikasikan kedalam mesin memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan bakar bentuk padat ataupun cair. Beberapa keunggulan bahan bakar gas diantaranya adalah lebih murah, lebih ringan dari udara, perawatan lebih mudah dan murah sehingga usia mesin menjadi lebih lama mengingat pembakaran yang dihasilkan lebih efisien. Saat ini bahan bakar gas yang

sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah Liquefied Petroleum Gas (Al-Kaabi, MM. dkk., 2000).

*Liquefied Petroleum Gas* (LPG) merupakan bahan bakar yang diproduksi oleh PT Pertamina Tbk dengan kandungan gas utamanya adalah gas propana dan butana dengan spesifikasi singkat berupa bilangan oktan 113 dengan nilai kalor 11.254,61 Kcal/Kg. Nilai kalor yang cukup tinggi sehingga dalam pengaplikasian terhadap mesin jauh lebih hemat dibandingkan menggunakan bahan bakar minyak. Selain itu, kelebihan dari penggunaan bahan bakar *liquefied petroleum gas* terhadap mesin jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Namun terlepas dari kelebihan yang diberikan tentunya terdapat kekurangan dari penggunaan bahan bakar dimana *liquefied petroleum gas* saat ini digunakan sebagai bahan bakar kompor di skala rumah tangga jadi tak heran bahan bakar ini biasa menjadi langka akibat konsumsi pasar yang tinggi sehingga untuk memenuhi kebutuhan pasar pemerintah terkadang mengimpor gas untuk menghasilkan *liquefied petroleum gas*. Disamping itu, kekurangan dalam pengaplikasian bahan bakar *liquefied petroleum gas* terhadap mesin ialah alat konverter bahan bakar yang rumit sehingga diperlukan biaya lebih untuk pembuatan alat konverternya. Saat ini telah ada penghasil gas yang serupa dengan *liquefied petroleum gas* yakni gas yang diperoleh dari pembakaran senyawa organik atau biomassa yang berasal dari tanaman yang disebut dengan *Synthetic Natural Gas* (syngas). Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah melakukan sejumlah studi investigasi bahan bakar. Performanya sangat dipengaruhi oleh penggunaan bahan bakar ganda. LPG dapat masuk ke mesin diesel melalui salah satu dari dua cara berikut ini: pertama dalam bentuk gas yang bercampur dengan udara dalam aliran udara. Kombinasi LPG dan udara diberi tekanan ke dalam silinder dengan cara yang sama seperti mesin diesel konvensional. Karena LPG memiliki suhu penyalaan yang lebih tinggi, kombinasi tersebut tidak terbakar secara spontan. Selain itu, peralatan injeksi diesel standar hanya perlu menginjeksikan sedikit solar untuk memulai proses pembakaran. Pendekatan kedua memanfaatkan

bentuk cair, yang dikombinasikan dengan bahan bakar diesel pada tekanan di atas 5 bar sebagai akibat dari peningkatan tekanan pemompaan (Al-Kaabi, MM. dkk., 2000).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mohsen LPG diuji dalam empat laju (5 L/mnt, 10 L/mnt, 15 L/mnt, dan 20 L/mnt). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi termal rem (BTE) dan suhu gas buang berkurang sementara konsumsi bahan bakar spesifik rem (BSFC) meningkat seiring dengan meningkatnya laju LPG. Menginduksi LPG dengan (5, 10, 15, 20) L/menit mengurangi karbon monoksida (CO) sebesar 16,6%, masing-masing 14,7%, 20,3%, dan 18,8%. Pengurangan emisi hidrokarbon (HC) adalah 8% pada laju 15L/menit dibandingkan dengan solar. Selain itu, menurut Andrew (2014) dengan meningkatkan jumlah propana yang terkandung dalam gas LPG juga dapat meningkatkan daya pada sistem dual fuel solar-LPG. Namun dalam penelitian ini jika fraksi LPG dinaikkan akan terjadi efek *knocking*. Fenomena *knocking* terjadi karena rendahnya suplai udara ke dalam ruang bakar seiring peningkatan suplai bahan bakar gas sehingga densitas di dalam ruang bakar menjadi naik. Bersamaan dengan kenaikan densitas di dalam ruang bakar berakibat dengan peningkatan temperature yang memicu bahan bakar mengalami self ignition.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penambahan LPG pada bahan bakar solar diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pembakarannya jadi lebih baik dari mesin diesel. Karena latar belakang tersebut maka disini penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul :

**“ANALISIS KINERJA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR SOLAR DENGAN PENAMBAHAN *LIQUEFIED PETROLEUM GAS* KE DALAM RUANG BAKAR”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana proses pembakaran mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar solar?
2. Bagaimana kinerja mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar solar?
3. Bagaimana opasitas gas buang mesin diesel TV-1 dengan menggunakan bahan bakar solar dengan penambahan LPG?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis proses pembakaran mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar solar.
2. Menganalisis kinerja mesin diesel TV-1 dengan penambahan gas LPG berbahan bakar solar.
3. Menganalisis opasitas gas buang mesin diesel TV-1 dengan menggunakan bahan bakar solar dengan penambahan LPG

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah solar dan LPG.
2. Rasio kompresi 14, 16 dan 18
3. Menggunakan mesin diesel TV-1
4. Beban yang digunakan sebesar 6, 8, dan 10 kg
5. Gas yang digunakan 0,18 kg/h, 0,32 kg/h dan 0,50 kg/h

## **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Sebagai referensi alternatif penggunaan bahan bakar solar dan LPG dalam kehidupan sehari-hari masyarakat.
2. Dapat menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian dapat dikembangkan untuk penelitian lanjut.

## BAB II

### LANDASAN PUSTAKA

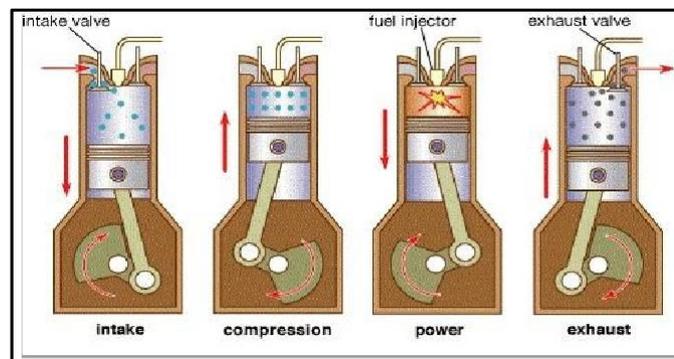
#### 2.1 Mesin Diesel

##### 2.1.1 Pengertian Mesin Diesel

Mesin diesel adalah mesin yang sistem pembakarannya di dalam (*internal combustion engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dikompresi dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong piston ke bawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar. Sesuai dengan gerakan piston untuk mendapatkan satu kali proses tersebut maka mesin diesel tersebut dibagi dalam 2 macam yaitu mesin diesel 4 langkah (4 tak) dan mesin diesel 2 langkah (2 tak).

##### 2.1.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel empat langkah mempunyai empat prinsip kerja, yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Keempat langkah mesin diesel ini bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan sebuah tenaga yang menggerakkan komponen lainnya.



**Gambar 1** Proses kerja Motor Diesel 4 Tak

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

Berikut ini 4 prinsip kerja pada mesin diesel empat langkah, yaitu:

1. Langkah Isap (*Intake*)

Langkah isap 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 dikompresi, 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). Pada saat ini, gerakan translasi dari piston diubah oleh poros engkol menjadi gerak putar, sehingga kendaraan dapat bergerak maju atau mundur sesuai dengan kecepatan.

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. Setelah langkah buang selesai siklus dimulai lagi dari langkah hisap dan seterusnya. Piston bergerak dari TMA - TMB - TMA - TMB - TMA membentuk satu siklus. Ada

satu langkah tenaga dengan dua putaran poros engkol. Motor bakar yang bekerja dengan siklus lengkap tersebut termasuk golongan motor 4 langkah.

### 2.1.3 VCR (*Variable Compression Ratio*)

Mesin diesel terhubung ke dynamometer tipe arus eddy. Rasio kompresi dapat diubah 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.



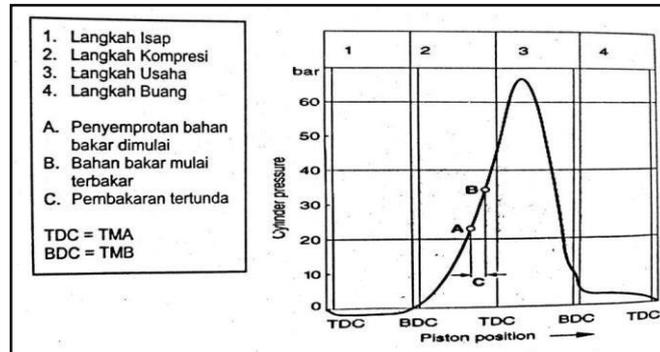
**Gambar 2** Mesin Diesel TV1

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 suhuterhubung pada pipa knalpot untuk mengukur suhu knalpot gas.

## 2.2 Proses Pembakaran Mesin Diesel

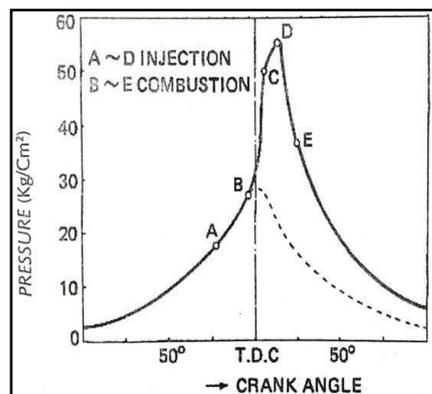
### 2.2.1 Diagram Pembakaran



**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 3). Saat bahan bakar mulai disemprotkan pada titik A (pada akhir langkah kompresi) maka bahan bakar tidak akan langsung terbakar pada titik A tersebut, akan tetapi awal pembakaran baru terjadi pada titik B. Injektor akan terus menyemprotkan bahan bakar sampai piston melewati TMA setelah langkah 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.

### 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)

Pembakaran sempurna bisa terjadi jika reaktan terbakar bersama oksigen kemudian menghasilkan beberapa produk. Pada saat hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka karbondioksida dan air akan dihasilkan dari reaksi utama yang terjadi. 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 NO<sub>2</sub>). Di samping itu produk yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat berupa oksida timah, oksida hlogenida, oksida sulfur, serta emisi evaporatif seperti hidrokarbon ringan yang teremisi dari bahan bakar.

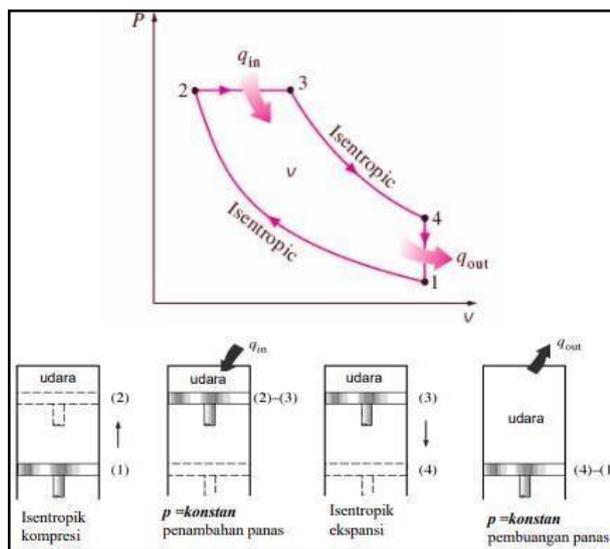
## 2.2.4 Siklus Udara Ideal

Penggunaan siklus ini berdasarkan beberapa asumsi adalah sebagai berikut:

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

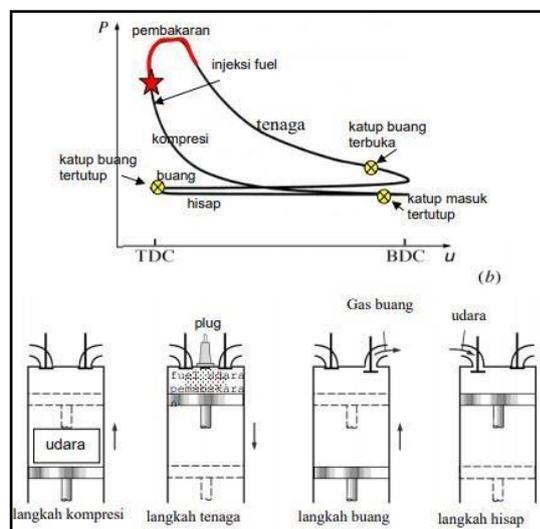
Siklus ideal tekanan konstan ini adalah siklus untuk mesin diesel. Gambar 5 adalah diagram P-V untuk siklus ideal Diesel. Adapun urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

1. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.

2. Langkah 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 kompresi.

#### 2.2.5 Siklus Aktual



**Gambar 6** Siklus Aktual Diesel

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

Siklus aktual pada mesin dengan pembakaran didalam (internal combustion engine) dihitung dengan maksud untuk menentukan parameter dasar thermodinamika suatu siklus kerja yang ditunjukkan dengan tekanan yang konstan dan konsumsi bahan bakar spesifik (Julianto, E., & Sunaryo, S, 2020).

## 2.3 Bahan Bakar

### 2.3.1 Pengertian 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).

### 2.3.2 Macam-macam Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah:

#### a. Solar

Bahan bakar diesel yang disubsidi pemerintah, yang diperoleh dari pengolahan minyak bumi. Minyak mentah dipisahkan pada proses destilasi dan menghasilkan fraksi solar dengan titik didih antara 250°C sampai dengan 300°C. Bilangan cetana 43, kandungan sulfur antara 3000 sampai dengan 3500 ppm. Sebagai bahan bakar, solar memiliki karakteristik tertentu, yaitu :

1. Tidak berwarna/terkadang berwarna kuning dan berbau.

2. Tidak akan menguap pada temperatur normal.
3. Memiliki kandungan sulfur lebih tinggi jika dibanding bio solar dan Pertamina Dex
4. Memiliki flash point antara 40°C sampai dengan 100 °C
5. Terbakar spontan pada temperatur 300°C
6. Menimbulkan panas yang tinggi kurang lebih 10.500 kkal/kg

Untuk menghasilkan pembakaran yang baik, solar memiliki syarat-syarat berikut:

1. Mudah terbakar
2. Tidak mudah mengalami pembekuan pada suhu yang rendah
3. Memiliki sifat anti *knocking* dan membuat mesin bekerja dengan lembut
4. Memiliki kekentalan yang memadai untuk disemprotkan ke dalam mesin oleh injector
5. Tetap stabil dan tidak mengalami perubahan struktur, bentuk dan warna dalam proses penyimpanan
6. Memiliki kandungan sulfur lebih kecil lagi, agar tidak berdampak buruk bagi mesin dan mengurangi polusi (Cappenberg, 2017)

b. *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

Elpiji atau dalam bahasa Inggris disingkat LPG, adalah gas minyak bumi yang dicairkan. Elpiji adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dan butana (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>).

Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) dan pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>). Dalam kondisi atmosfer, elpiji akan berbentuk gas. Volume elpiji dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu elpiji dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung elpiji tidak diisi secara penuh,

hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan, dan suhu, tetapi biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana elpiji berbentuk cair atau dinamakan tekanan uap, bervariasi tergantung komposisi dan suhu. Sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2,2 bar) bagi butana murni pada 20° C (68° F) agar mencair, dan sekitar 2,2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55° C (131°F). Menurut spesifikasinya, elpiji dibagi menjadi tiga jenis, yaitu Elpiji campuran, elpiji propana, dan elpiji butana. Elpiji mempunyai beberapa sifat yang antara lain adalah sebagai berikut.

1. Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar.
2. Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau menyengat karena terdapat tambahan zat pembau.
3. Gas dikiriskan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
4. Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat.

Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah. Berikut merupakan spesifikasi bahan bakar gas *Liquefied Petroleum Gas* menurut Suplay distributor management pertamina:

No	PARAMETER	UNIT	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Berat jenis relatif pada 60/60 °F	-	Dilaporkan		ASTM D1657/ D2598/ IP 432
2	Tekanan Uap pada 100 °F	psig	-	145	ASTM D1267/ D6897/ D2598 / IP 432
3	Korosi Bilah Tembaga pada 1 jam/100 °F	kelas	-	1	ASTM D1838
4	Kandungan Sulfur Total	grains/ 100 cuft	-	15	ASTM D6667/ D3246/ D5504 / D6228
5	Kandungan Air	-	Tidak ada air bebas		Visual
6	Komposisi				ASTM D2163
	C2	% vol	-	0.8	
	C3 dan C4	% vol	97.0	-	
	C5+ (C5 dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	% vol	-	2.0	
7	Etil atau Butil Merkaptan	lb/10000 AG	1.0	-	-
Untuk pengawasan disamping karakteristik tersebut di atas atau yang disepakati wajib ditambah karakteristik berikut:					
8	Residu, Salah satu dari persyaratan ini harus dipenuhi				
	1. Residu pada penguapan 100 ml, dan Pemeriksaan Noda Minyak	ml	-	0.05	ASTM D2158
	atau				
	2. Residu dengan <i>Gas Chromatography</i>	mg/kg	-	350	ASTM D7556
	atau				
	3. Residu dengan <i>Mass Analysis Method</i>				ILPG A-S-03
	Pada 75°C	ppm	-	60	
	Pada 105°C	ppm	-	10	
9	Etil atau Butil Merkaptan	lb/10000 AG	1.0	-	ASTM D5305 / D5504

**Gambar 7** Spesifikasi *Liquefied Petroleum Gas*  
Sumber: Suplay distributor management pertamina

## 2.4 Dasar-dasar Perhitungan Kinerja Motor Bakar

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

### a. Daya Efektif (BP)

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).

$$BP = \frac{T.N}{9549,305} \text{ (kW)} \quad (1)$$

Ketereangan ;

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,

$$FC_S = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left( \frac{kg}{h} \right) \quad (2)$$

$$FC_{SG} = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left( \frac{kg}{h} \right) + FC_G \quad (3)$$

Keterangan:

$FC_S$  = Konsumsi Bahan Bakar Solar (kg/h)

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

$FC_G$  = Jumlah penambahan *Liquefied Petroleum Gas*

$VGU$  = Volume gelas ukur

$\rho_f$  = Massa jenis bahan bakar, (kg/dm<sup>3</sup>)

$10^{-3}$  = Faktor konversi cc ke dm<sup>3</sup>

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:

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kW.h)} \quad (4)$$

Keterangan:

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

$FC$  = Konsumsi Bahan Bakar ( $kg/h$ )

$BP$  = Daya Efektif, ( $kW$ )

d. Konsumsi 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:

$$M_a = Kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}} \quad (5)$$

Keterangan:

$M_a$  = Laju Aliran Udara aktual ( $kg/h$ )

$Kd$  = koefisien discharge orifice = (0,6)

$Do$  = diameter orifice, (mm)

$h_o$  = beda tekanan pada manometer (mmWC)

$\rho_{ud}$  = 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:

$$M_{th} = \frac{V_s \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{K_a} \text{ (kg/h)} \quad (6)$$

Dan,

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6} \quad (7)$$

Keterangan:

$V_s$  = volume selinder

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

$N$  = putaran poros (rpm)

$\rho_{ud}$  = massa jenis udara ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$K_a$  = 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:

$$AFR = \frac{M_a}{FC} \quad (8)$$

Keterangan:

$M_a$  = konsumsi udara aktual (kg/h)

$FC$  = konsumsi bahan bakar (kg/h)

g. Efisiensi Volumetris,  $\eta_{vol}$  (%)

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  $\eta_{vo}$  dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{vo} = \frac{M_a}{M_{th}} \cdot 100 (\%) \quad (9)$$

Keterangan:

$M_a$  = konsumsi udara aktual (kg/h)

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

#### h. Efisiensi Thermis ( $\eta_{th}$ )

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.  $\eta_{th}$  dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} (\%) \quad (10)$$

$$Q_{tots} = \frac{FC.LHV_{bb}}{3600} (kW) \quad (11)$$

$$Q_{totsg} = \frac{(FC_s.LHV_{bb})+(FC_g.LHV_{bb})}{3600} (kW) \quad (12)$$

Keterangan:

$Q_{tots}$  = 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 Opasitas

Opasitas atau kepekatan asap merupakan indikator baik tidaknya sistem pembakaran yang terjadi pada kendaraan diesel. Opasitas diukur dalam persen, semakin besar persentasinya, maka semakin pekat asap knalpot kendaraan. Partikel asap (Smoke) berwarna hitam keabu-abuan dari hasil

pembakaran engine/mesin diesel, hal ini terjadi karena kurangnya suplai udara yang akan bersenyawa dengan bahan bakar, tekanan pembukaan injector rendah, saat penginjeksian tidak tepat dan beban yang berlebihan. Bila kandungannya pada suatu ruangan men-capai 3000 ppm (Part per million) dapat membunuh manusia dalam waktu  $\pm 30$  menit, karena sifat carbon monoksida mudah beradap-tasi dengan darah dan kandungan CO pada darah akan menolak oksigen yang dibutuhkan oleh darah sehingga tubuh kekurangan oksigen. Dua metode umum untuk mengukur jumlah polutan yaitu:

1. Emisi Spesifik Opasitas ( $SE_{opa}$ )

Emisi spesifik opasitas biasanya memiliki satuan persen/kW-jam.

$$SE_{opa} = \text{opasitas}(\%)/BP \quad (12)$$

Keterangan

Opasitas = Kepekatan gas buang (%)

BP = Daya Efektif (kWh)

2. Index Emisi Opasitas

Indeks emisi memiliki satuan aliran emisi per aliran bahan bakar.

$$EI_{opa} = \text{opasitas}(\%)/Fc \quad (13)$$

Keterangan

Opasitas = Kepekatan gas buang (%)

Fc = Konsumsi bahan bakar (kg/h)