

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
LPG DAN GAS HASIL GASIFIKASI SAMPAH ORGANIK**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**MUH SAFAR ALPAREL**

**D021171517**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
LPG DAN GAS HASIL GASIFIKASI SAMPAH ORGANIK**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**MUH SAFAR ALPAREL**

**D021171517**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL:**

**ANALISIS KINERJA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS  
LPG DAN GAS HASIL GASIFIKASI SAMPAH ORGANIK**

**MUH SAFAR ALPAREL**

**D021171517**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Gowa, 22 Februari 2022

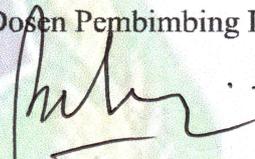
Dosen Pembimbing I



**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT**

**NIP. 19791112 200812 2 002**

Dosen Pembimbing II



**Ir. Baharuddin, ST., MT**

**NIP. 19550914198702 1 001**

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT**

**NIP. 19720825 200003 1 001**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh Safar Alparel  
NIM : D021171517  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1  
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Mesin Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG Dan Gas Hasil Gasifikasi Sampah Organik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat

Gowa, 21 Januari 2022

Yang membuat pernyataan



**Muh Safar Alparel**

## ABSTRAK

Bahan bakar gas merupakan bahan bakar yang berasal dari gas bumi dimana dapat diketahui di Indonesia cadangan gas bumi cukup melimpah Sebagai upaya untuk meningkatkan penggunaan bahan bakar gas maka dilakukan pengembangan teknologi mesin konversi energi. Misalnya melalui kajian modifikasi suatu mesin motor sebagai pembangkit daya. Namun Energi merupakan permasalahan yang sangat penting untuk semua Negara maka untuk mendapatkan sumber energi terbarukan, salah satu sumber alternatif adalah mengolah sampah yang dapat digunakan sebagai bahan bakar suatu mesin yaitu dengan proses gasifikasi.

Penelitian ini menggunakan bahan bakar LPG dan syngas yang dioperasikan ke Mesin Honda 100 cc dengan menambahkan Konverter kit, konverter kit bertujuan untuk mengkonversi mesin berbahan bakar minyak menjadi berbahan bakar gas, tanpa harus mengganti mesin.

Dari hasil penelitian LPG dengan putaran mesin 2000,3000,4000 dan 5000 didapatkan hasil waktu konsumsi bahan bakar berkisar antara 1268-306 detik dimana semakin tinggi putaran mesin maka waktu konsumsi semakin cepat. dengan laju konsumsi bahan bakar 0.00008 kg/s – 0.00035 kg/s dan laju konsumsi udara 0.0055 kg/s – 0.0111 kg/s. dengan dilakukan pencampuran LPG dan Syngas putaran mesin LPG akan meningkat sebesar 2000 RPM disebabkan oleh syngas, putaran mesin terbaik Syngas sebesar 2400 RPM.

Kata kunci: kinerja mesin, LPG, gasifikasi

## **ABSTRACT**

Gas fuel is a fuel derived from natural gas which can be seen in Indonesia, natural gas reserves are quite abundant. As an effort to increase the use of gas fuel, the development of energy conversion engine technology is carried out. For example, through the study of the modification of a motor engine as a power generator. However, energy is a very important problem for all countries, so to get renewable energy sources, one alternative source is to process waste that can be used as fuel for an engine, namely the gasification process.

This study uses LPG and syngas fuel which is operated on a 100 cc Honda engine by adding a converter kit, the converter kit aims to convert oil-fueled engines into gas-fueled engines, without having to replace the engine.

From the research results of LPG with engine speed of 2000,3000,4000 and 5000, the results of the fuel consumption time range from 1268-306 seconds where the higher the engine speed, the faster the consumption time. with a fuel consumption rate of 0.00008 kg/s – 0.00035 kg/s and an air consumption rate of 0.0055 kg/s – 0.0111 kg/s. by mixing LPG and Syngas, the engine speed of LPG will increase by 2000 RPM due to syngas, the best engine speed for Syngas is 2400 RPM.

**Keywords:** engine performance, LPG, gasification

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan judul. “**Analisis kinerja Mesin Menggunakan Bahan Bakar gas LPG Dan Gas Hasil Gasifikasi Sampah Organik**” Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini berguna bagi penulis dan pihak-pihak lain sebagai acuan untuk kebutuhan ilmu pengetahuan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran skripsi ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih:

1. Kepada Orang tua saya tercinta, terutama ibu saya terima kasih atas semua kasih sayang, doa dan petuahnya yang tidak pernah putus. Ibu yang membuat saya selalu semangat untuk menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr.Eng. jalaluddin ST., MT selaku ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Dr.Eng. Novriany Amaliyah, ST.,MT. selaku pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir.baharuddin.,ST.,M.T selaku pembimbing II Tugas Akhir.
5. Prof.Dr.Eng.Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT. selaku penguji.
6. Bapak Asriadi Sakka, ST., M.Eng selaku penguji

7. Segenap Dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Bapak H. Muis Tolla selaku laboran di Laboratorium Motor Bakar yang senantiasa membantu dalam penelitian saya.
9. Teman-teman setim saya di Mobak khususnya Alim, kaplo, aldo dan Mamat yang senantiasa selalu menjadi teman diskusi yang sudah membantu penulis dalam memecahkan berbagai kendala dalam penelitian.
10. Saudara-saudara seperjuangan penulis Zyncromezh 2017 yang sudah menjadi tim hore dan tim support paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka, yang bahkan saya tidak yakin bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik tanpa mereka.
11. Kanda Rachmad Bambang selaku direktur CV. Karya Putra Khatulistiwa yang selalu memberikan dukungan
12. Teman-teman CV. DDSF Sejahtera yang selalu menyemangati

***Wassalamu'alaikum Wr.Wb***

Gowa, Februari 2022

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3. Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4. Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.5. Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	5
<b>2.1. Motor Bensin 4 Langkah (4 Tak)</b> .....	5
<b>2.2. Siklus Ideal</b> .....	13
<b>2.3. Siklus Aktual</b> .....	14
<b>2.4. Sistem Bahan Bakar</b> .....	15
<b>2.5. Dasar Perhitungan</b> .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
<b>3.1. Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	23
<b>3.2. Alat dan Bahan</b> .....	23
<b>3.3. Metode Pengambilan Data</b> .....	28
<b>3.4. Prosedur Penelitian</b> .....	28
<b>3.5. Skema Penelitian</b> .....	30

3.6. Diagram Alir Penelitian .....	32
3.7. Rencana dan Jadwal Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1. Perhitungan Pengujian Menggunakan Gas LPG .....	34
4.2. Perhitungan Pengujian Menggunakan Gas LPG + Syngas .....	44
4.3. Analisis Kinerja LPG .....	58
4.4. Analisis Kinerja LPG + Syngas .....	63
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Mekanisme mesin 4 langkah .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Komponen mesin bensin 4 langkah .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Piston .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Mekanisme katup .....	9
<b>Gambar 2.5</b> Desain sistem konversi bahan bakar bensin ke gas .....	11
<b>Gambar 2.6</b> Busi .....	12
<b>Gambar 2.7</b> Diagram P–V Siklus Otto (siklus volume konstan) .....	13
<b>Gambar 2.8</b> Diagram P-V Siklus Actual .....	15
<b>Gambar 3.1</b> Mesin Honda supra 100 cc .....	23
<b>Gambar 3.2</b> Konverter kit .....	25
<b>Gambar 3.3</b> Gas lpg .....	25
<b>Gambar 3.4</b> Gasifikasi gas organik .....	26
<b>Gambar 3.5</b> Takometer .....	26
<b>Gambar 3.6</b> Flow meter .....	27
<b>Gambar 3.7</b> Anemometer .....	27
<b>Gambar 3.8</b> Instalasi percobaan dengan bahan bakar gas LPG .....	30
<b>Gambar 3.9</b> Instalasi percobaan dengan bahan bakar gas hasil gasifikasi sampah organik .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Daya Efektif Menggunakan Bahan Bakar LPG .....	58
<b>Gambar 4.2</b> Perbandingan putaran mesin terhadap laju komsusmsi bahan bakar	59
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan putaran mesin terhadap laju komsumsi udara .....	60
<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan putaran mesin terhadap AFR Aktual .....	61
<b>Gambar 4.5</b> Perbandingan putaran mesin terhadap efisiensi thermis.....	62
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan putaran mesin 3 (Syngas) dengan daya efektif.....	63
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan putaran mesin 3 (Syngas) terhadap efisiensi thermis.....	64
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan putaran mesin (2) (LPG+Syngas) terhadap daya efektif.....	64

<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan putaran mesin (2) (LPG+Syngas) terhadap efisiensi thermis .....	65
<b>Gambar 4.10</b> Putaran Mesin 1 dan 2 .....	66
<b>Gambar 4.11</b> Putaran Mesin 2 dan 3 .....	67
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan Rasio Syngas LPG terhadap putaran mesin 2 (LPG+Syngas) .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1.</b> Data hasil pengujian menggunakan gas LPG .....	34
<b>Tabel 4.2.</b> Data hasil pengujian menggunakan LPG + Syngas .....	44
<b>Tabel 4.3.</b> Analisis ultimasi dari biomassa .....	46

## DAFTAR SIMBOL

FCR atau $\dot{m}_f$	Laju konsumsi bahan bakar	kg/s
$\rho_{LPG}$	Massa jenis LPG	kg/m <sup>3</sup>
$A_{selang\ gas\ LPG}$	Luas selang gas LPG	m <sup>2</sup>
$D_{selang\ gas\ LPG}$	Diameter selang gas LPG	m <sup>2</sup>
$V_{LPG}$	Kecepatan LPG	m/s
$\dot{m}_a$	Laju alir udara	kg/s
$\rho_{udara}$	Massa jenis udara	kg/m <sup>3</sup>
$A_{konsumsi\ udara}$	Luas pipa konsumsi udara	m <sup>2</sup>
$D_{konsumsi\ udara}$	Diameter konsumsi udara	m <sup>2</sup>
$V_u$	Kecepatan udara	m/s
$\dot{m}_{as}$	Laju alir udara pengujian syngas	kg/s
$A_{pipa\ udara\ supply}$	Luas pipa udara <i>supply</i>	m <sup>2</sup>
$D_{udara\ supply}$	Diameter udara <i>supply</i>	m <sup>2</sup>
$V_{us}$	Kecepatan udara <i>supply</i>	m/s
$\dot{m}_s$	Laju alir syngas	kg/s
$\rho_{syngas}$	Massa jenis syngas	kg/m <sup>3</sup>
$A_{selang\ syngas}$	Luas selang syngas	m <sup>2</sup>
$D_{selang\ syngas}$	Diameter selang syngas	m <sup>2</sup>
$V_s$	Kecepatan syngas	m/s
$AFR_{act}$	Rasio udara bahan bakar	-
ER	Rasio ekivalen	-

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan salah satu sumber energi yang sangat populer dalam hal bahan bakar yang dikarenakan tingkat kegunaannya yang cukup tinggi, namun bahan bakar yang diperoleh dari minyak fosil ini juga membawa dampak buruk yang tidak sedikit bagi lingkungan sekitar. Dikarenakan masalah itu, pada saat ini masyarakat global tengah menyerukan dampak yang berbahaya bagi bahan bakar ini. Tak sedikit pula masyarakat yang berlomba-lomba mencari pengganti dari bahan bakar ini, yang lebih ramah lingkungan dan bersifat renewable atau terbarukan. Salah satu bahan bakar pengganti tersebut adalah gas LPG (*liquid petroleum gas*) yang merupakan bahan bakar yang berasal dari gas bumi dimana dapat diketahui di Indonesia cadangan gas bumi cukup melimpah. Pada tahun 1987 pemerintah melalui Pertamina sudah mengadakan uji coba pemakaian Bahan Bakar Gas (BBG) untuk kendaraan bermotor. Kalau dihitung berarti sudah sekitar 33 tahun BBG dipasarkan secara komersial sebagai bahan bakar kendaraan bermotor di Indonesia, namun perkembangan penjualannya berjalan sangat lambat (Sitorus 2002)

Menurut badan pusat statistik jumlah kendaraan roda dua pada tahun 2020 sebanyak 115.023.039 unit. Kebanyakan dari kendaraan roda dua tersebut masih menggunakan mesin yang memiliki kompresi rendah. Mesin kompresi rendah menggunakan RON yang rendah juga agar dapat bekerja secara maksimal. Salah satu mesin yang memiliki kompresi rendah ialah Honda Astrea. Indonesia saat ini memasuki masa transisi dimana premium (RON rendah) akan digantikan dengan pertamax (RON tinggi). Sehingga dibutuhkan sebuah inovasi agar dapat memaksimalkan potensi dari mesin yang memiliki kompresi rendah.

Sebagai upaya untuk meningkatkan penggunaan bahan bakar gas maka dilakukan pengembangan teknologi mesin konversi energi. Misalnya melalui

kajian modifikasi suatu mesin motor sebagai pembangkit daya. Dalam pengoptimalan sumber daya terbarukan ini, penggunaan energi bahan bakar gas pada motor bakar dirasa masih kurang dan belum dapat digunakan secara merata. Umumnya pada mesin motor dan mobil masih banyak menggunakan bahan bakar (BBM), yaitu menggunakan bahan bakar bensin. Jadi perlu adanya penelitian mengenai BBG sebagai bahan bakar alternatif pada mesin motor dan mobil (Cahyono 2015).

Energi merupakan permasalahan yang sangat penting untuk semua Negara Berbagai cara dilakukan oleh para peneliti untuk mendapatkan sumber energi terbarukan, salah satu sumber alternatif adalah mengolah sampah yang dapat digunakan sebagai bahan bakar suatu mesin yaitu dengan proses gasifikasi.

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara, petcoke (petroleum coke), dan biomassa. Bahan baku untuk proses asifikasi dapat berupa limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya. Gas hasil gasifikasi ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan sebagai sumber bahan bakar, seperti untuk menjalankan mesin pembakaran, digunakan untuk memasak sebagai bahan bakar kompor, ataupun digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik sederhana. Melalui gasifikasi maka dapat mengkonversi hampir semua bahan organik kering menjadi bahan bakar, sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar (Suyitno, 2011).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “ANALISIS KINERJA MESIN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS LPG DAN GAS HASIL GASIFIKASI SAMPAH ORGANIK”.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kinerja mesin bensin jika dioperasikan dengan bahan bakar LPG
2. Bagaimana kinerja mesin bensin jika dioperasikan dengan bahan bakar gas hasil gasifikasi sampah

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diperoleh beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa kinerja mesin bensin jika dioperasikan dengan bahan bakar LPG
2. Untuk menganalisa kinerja mesin bensin jika dioperasikan dengan bahan bakar gas hasil gasifikasi

## **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin Honda dengan volume silinder 100 cc, dengan 1 silinder, 4 langkah
2. Bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG dan gas hasil gasifikasi sampah organik
3. Kecepatan putaran mesin (RPM) yang digunakan adalah 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, 5000 rpm

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh pada masa kuliah

b. Bagi Universitas

Menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian dapat dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

c. Bagi Industri

Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk memproduksi mesin ramah lingkungan dan mengatisifikasi kelangkaan minyak bumi

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Motor Bensin 4 Langkah (4 Tak)**

Motor pembakaran dalam (internal combustion engine) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme mesin. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja. Siklus kerja motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor Otto berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor Otto merupakan motor pembakaran dalam karena motor Otto melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis (Mahesa, 2017)

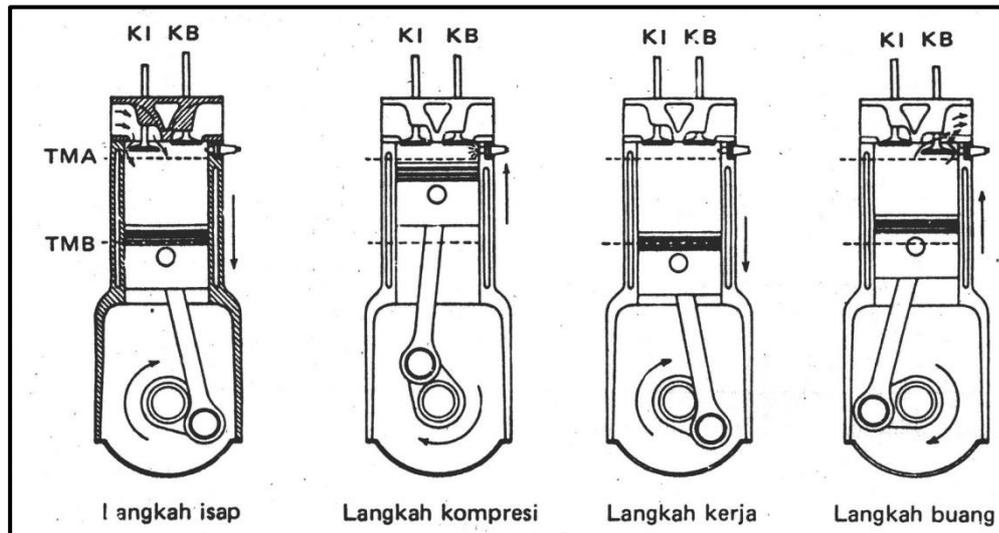
##### **2.1.1 Prinsip Kerja**

Motor empat langkah merupakan mesin dengan siklus kerja yang terdiri dari langkah isap, kompresi, ekspansi, dan buang. Masing-masing membutuhkan  $180^\circ$  putaran crankshaft sehingga dalam satu siklus membutuhkan  $720^\circ$

Beberapa kejadian berikut, membentuk siklus dalam motor bensin:

1. Mengisi silinder mesin dengan udara.
2. Penekanan isi udara yang menaikkan tekanan dan suhu sehingga kalau bahan bakar diinjeksikan, akan segera menyala dan terbakar secara efisien.
3. Pembakaran bahan bakar dan pengembangan gas panas
4. Mengosongkan hasil pembakaran dari selinder.

Keempat kejadian ini terjadi berulang-ulang pada waktu mesin menyala. Jika masing-masing dari keempat kejadian ini memerlukan langkah. Empat kejadian utama ditunjukkan secara skematis pada gambar



**Gambar 2.1** Mekanisme mesin 4 langkah  
 Sumber: etsworlds 2019 prinsip-kerja-motor-bakar-4-langkah.

Keterangan:

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Saluran hisap | 5. Roda gila    |
| 2. Busi          | 6. Poros engkol |
| 3. Silinder      | 7. Saluran buan |
| 4. Piston        |                 |

Proses kerja mesin 4 langkah 1 silinder

1. Langkah Hisap

Langkah hisap atau langkah pengisian torak bergerak dari TMA ke TMB. Katup masuk terbuka dan katup buang tertutup karena isapan torak udara mengalir ke dalam silinder melalui katup masuk. Pada saat pemasukan udara ini di dalam silinder tekanannya lebih rendah dari tekanan atmosfer. Setelah sampai di TMB katup masuk tertutup.

2. Langkah Kompresi

Pada langkah ini torak bergerak dari TMB ke TMA. Kedua katup tertutup karena gerakan torak ke atas. Udara yang berada di dalam silinder dikompresikan.

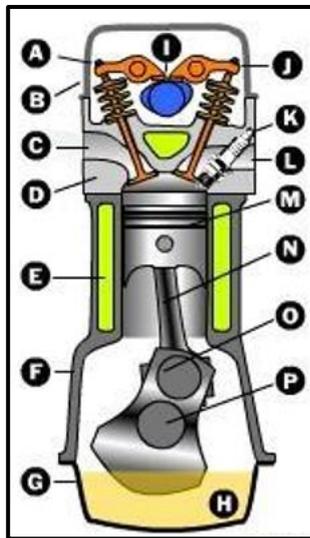
### 3. Langkah Kerja

Torak bergerak dari TMA ke TMB. Kedua katup masih dalam keadaan tertutup. Saat sebelum torak sampai di TMA atau sebelum langkah kompresi bahan bakar dikabutkan ke dalam ruang bakar. Bahan bakar tersebut langsung terbakar dengan sendirinya karena udara pembakar di dalam ruang bakar itu sudah bertemperatur sangat tinggi. Karena pembakaran itu temperatur dan tekanannya naik, gas pembakaran berekspansi dan mendorong torak ke bawah untuk melakukan kerja mekanis menggerakkan poros engkol.

### 4. Langkah Buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. Pada proses ini katup masuk tertutup dan katup buang terbuka. Dalam gerakan torak ke atas menuju TMA gas hasil pembakaran akan terdorong keluar melalui katup pembuangan. Setelah torak menyelesaikan langkah ini sampai di TMA katup pembuangan tertutup dan katup masuk terbuka, siap melakukan langkah pengisian lagi (Sutomo, 2011)

#### 2.1.2 Komponen Mesin Bensin 4 Langkah



**Gambar 2.2** Komponen mesin bensin 4 langkah  
Sumber: prinsip dasar pada system karburator

Keterangan:

A. Mekanisme intake valve

C. Saluran intake

B. Cover valve

D. Cylinder head

E. Saluran pendingin

F. Blok engine

G. Bak oli

H. Penghisap oli

I. Camshaft

J. Mekanisme exhaust valve

K. Busi

L. Saluran Exhaust

M. Piston (Torak)

N. Batang Penghubung

O. Bearing Crankshaft

P. Crankshaf

### 1. Torak (Piston)

Torak merupakan bagian mesin yang bersinggungan langsung dengan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi, torak bergerak translasi dengan kecepatan tinggi. Torak pada mesin bensin empat tak dilengkapi dengan tiga ring torak. Ring pada bagian atas berfungsi agar gas pembakaran yang bertekanan tinggi tidak masuk ke dalam ruang engkol (crankcase). Ring bagian bawah berfungsi sebagai pengontrol oli yang menempel pada dinding silinder



**Gambar 2.3** piston  
Sumber: sumardiyanto 2018

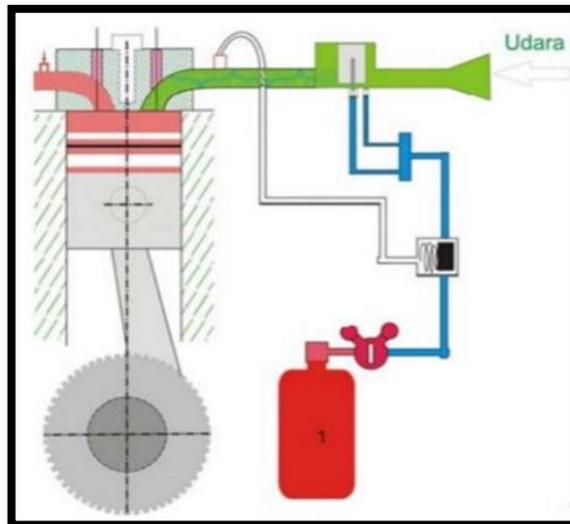


### 3. Konverter kit

Konverter kit adalah alat penambahan untuk kendaraan, untuk merubah bahan bakar bensin menjadi bahan bakar lpg. Fungsi dari konverter kit adalah Sebuah alat yang digunakan untuk melakukan perubahan sehingga bisa memanfaatkan bahan bakar yang berbeda dikenal sebagai ALAT KONVERSI (Converter) yang terdiri dari penggantian lubang gas/bahan bakar (main jet dan pilot jet) dan sebuah alat regulator. Alat kelengkapan pemanfaatan gas dirancang untuk bekerja dengan gas tertentu yang memiliki tekanan tertentu. Dengan alat konversi ini tekanan gas diatur sesuai dengan tekanan dan jumlah (flow) yang dibutuhkan untuk menjalankan mesin. Memungkinkan motor untuk menggunakan 100% gas alam (LPG).

1. Tabung LPG - digunakan sebagai tempat menyimpan gas LPG dalam bentuk cair dan bertekanan. Tekanan gas dalam tabung ini adalah sekitar 4 - 8 Kg/cm<sup>2</sup>, cukup rendah jika dibandingkan dengan CNG yang dapat mencapai 200 - 300 Kg/cm<sup>2</sup>. Nama lain dari tabung LPG adalah tangki LPG
2. Regulator - menurunkan atau mengurangi tekanan gas LPG yang keluar dari tabung sampai dengan 0.05 Kg/cm<sup>2</sup>. Nama lain dari regulator yang berhubungan dengan konverter kit adalah Heat Exchanger, Vaporizer atau Reducer. Gas LPG yang masuk ke mesin dihisap oleh mekanisme pada karburator LPG karena itu tekanannya harus rendah, diatas sedikit dari tekanan atmosfer. Sistem ini dimaksudkan agar aliran gas LPG berhenti pada saat mesin mati atau tidak membutuhkan gas.
3. Katup Gas - digunakan untuk membuka saluran gas dari tabung ketika akan digunakan dan menutup saluran gas dari tabung ketika motor tidak digunakan. Nama lain dari alat ini adalah Fuel Valve. Alat ini bisa berupa Selenoid Valve yang dioperasikan oleh listrik, Vacuum Valve yang diaktifkan oleh vakum dari mesin, atau hanya berupa keran gas biasa yang dioperasikan secara manual.
4. Bagian Karburator (Mixer) dan kit adaptor LPG - Udara dan gas LPG dicampur dibagian ini, dengan perbandingan tertentu yang sesuai. Bagian utama dari karburator ini adalah: skep dengan jarum skep, dan spuyer atau nozzle. Pada dasarnya sebuah karburator untuk gas adalah lebih sederhana dari karburator

untuk bensin karena LPG sudah dalam bentuk gas, sedangkan fungsi karburator bensin adalah memaksa bensin yang dalam bentuk cair menjadi gas atau kabut bensin (Rukmana 2017)



**Gambar 2.5** Desain sistem konversi bahan bakar bensin ke gas.  
Sumber: Rukmana et al 2017

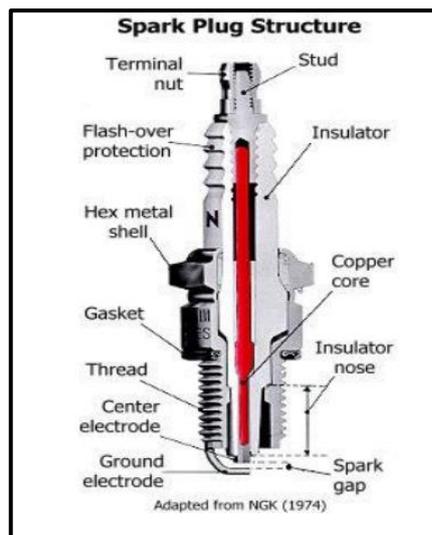
Keterangan:

1. Tabung Gas
  2. Regulator tekanan tinggi
  3. Regulator converter kit
  4. Pembagi
  5. Karburator/Pencampur
4. Busi

Busi adalah suatu suku cadang yang dipasang pada mesin pembakaran dalam dengan ujung elektroda pada ruang bakar. Busi dipasang untuk membakar bensin yang telah dikompres oleh piston. Percikan busi berupa percikan elektrik. Pada bagian tengah busi terdapat elektroda yang dihubungkan dengan kabel ke koil pengapian (ignition coil) di luar busi, dan dengan ground pada bagian bawah busi, membentuk suatu celah percikan di dalam silinder. Busi tersambung ke tegangan yang besarnya ribuan Volt yang dihasilkan oleh koil pengapian (ignition coil). Tegangan listrik dari koil pengapian menghasilkan beda tegangan antara elektroda

di bagian tengah busi dengan yang di bagian samping. Arus tidak dapat mengalir karena bensin dan udara yang ada di celah merupakan isolator, namun semakin besar beda tegangan, struktur gas di antara kedua elektroda tersebut berubah. Pada saat tegangan melebihi kekuatan dielektrik daripada gas yang ada, gas-gas tersebut mengalami 16 proses ionisasi dan yang tadinya bersifat isolator, berubah menjadi konduktor. Setelah itu terjadi arus elektron dapat mengakibatkan suhu di celah percikan busi naik drastis, sampai 60.000 K. Suhu yang sangat tinggi ini membuat gas yang terionisasi untuk memuai dengan cepat dan menjadi ledakan. Rata-rata panas yang dihasilkan ditentukan oleh:

- a. Panjang hidung insulator
- b. Volume gas disekitar hidung insulator
- c. Material dan konstruksi dari pusat elektroda dan porselin insulator.



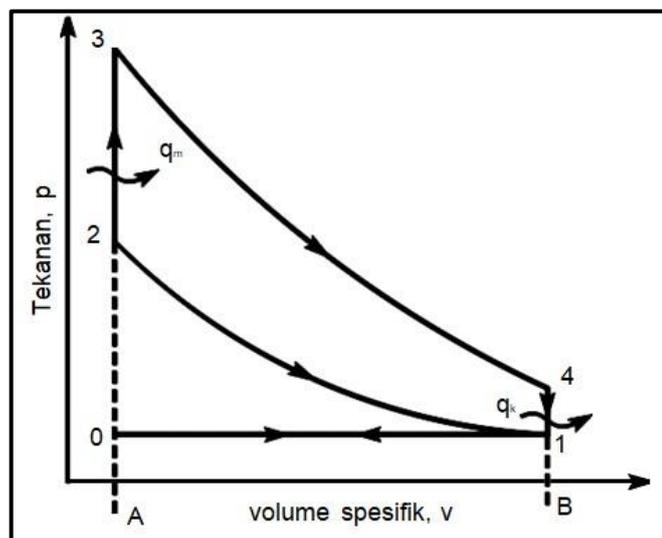
**Gambar 2.6** Busi  
Sumber: Mahesa, 2017

Sekarang sebagai fungsi aktualnya sebagai pemicu pembakaran yang mengirim percikan bunga api melalui rotor, menuju cap, turun pada kawat dan kemudian percikan tersebut melompat pada celah busi. Inti dari busi diciptakan untuk membakar campuran udara–bahan bakar pada ruang bakar. Waktu yang tepat pada percikan ini tidak hanya terpusat pada gambaran 17 diatas tetapi kita harus mempunyai heat range dan gap yang benar (Mahesa, 2017)

## 2.2 Siklus ideal

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi dalam motor bakar torak amat kompleks untuk dianalisa menurut teori. Pada umumnya untuk menganalisa motor bakar torak dipergunakan siklus udara sebagai siklus yang ideal. Siklus ideal motor bensin adalah siklus udara volume konstan (Siklus Otto)

Motor bensin adalah jenis motor bakar torak yang bekerja berdasarkan siklus volume konstan, karena saat pemasukan kalor (langkah pembakaran) dan pengeluaran kalor terjadi pada volume konstan. Siklus ini adalah siklus yang ideal. Seperti yang terlihat pada diagram P – V



**Gambar 2.7** Diagram P – V Siklus Otto (siklus volume konstan)  
Sumber: Arismunandar et al, 1988.

1. Langkah 0 – 1 adalah langkah hisap, yang terjadi pada tekanan (P) konstan.
2. Langkah 1 – 2 adalah langkah kompresi, pada kondisi isentropik
3. Langkah 2 – 3 adalah proses pemasukan kalor pada volume konstan.
4. Langkah 3 – 4 adalah proses ekspansi, yang terjadi secara isentropik.
5. Langkah 4 - 1 adalah langkah pengeluaran kalor pada volume konstan.
6. Langkah 1 – 0 adalah proses tekanan konstan.

Proses tersebut menggunakan beberapa asumsi sebagai berikut:

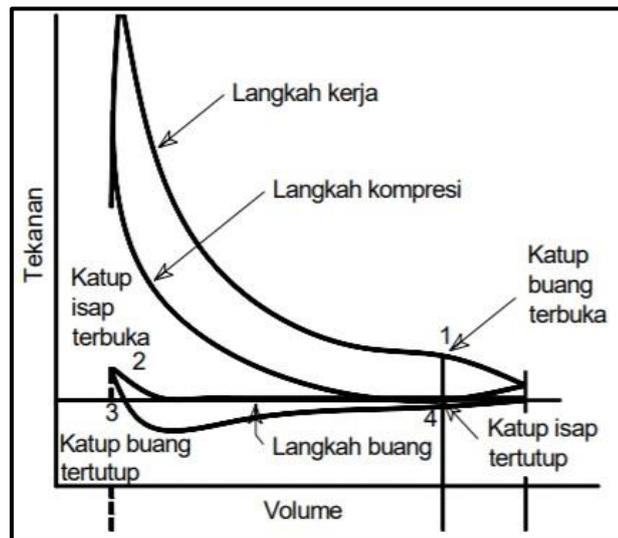
- a. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal yang mempunyai kalor spesifik konstan.
- b. Siklus dianggap tertutup artinya siklus ini berlangsung dengan fluida yang

sama yang berada dalam silinder, pada titik 1 (langkah buang) fluida dikeluarkan dari ruang bakar, tetapi langkah isap berikutnya akan masuk fluida dengan jenis yang sama.

### **2.3 Siklus aktual**

Siklus udara volume konstan atau siklus otto adalah proses yang ideal. Dalam kenyataannya baik siklus volume konstan, siklus tekanan konstan dan siklus gabungan tidak mungkin dilaksanakan, karena adanya beberapa hal sebagai berikut:

- a. Fluida kerja bukanlah udara yang bisa dianggap sebagai gas ideal, karena fluida kerja disini adalah campuran bahan bakar (premium) dan udara, sehingga tentu saja sifatnya pun berbeda dengan sifat gas ideal.
- b. Kebocoran fluida kerja pada katup (valve), baik katup masuk maupun katup buang, juga kebocoran pada piston dan dinding silinder, yang menyebabkan tidak optimalnya proses.
- c. Baik katup masuk maupun katup buang tidak dibuka dan ditutup tepat pada saat piston berada pada posisi TMA dan atau TMB, karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja. Kerugian ini dapat diperkecil bila saat pembukaan dan penutupan katup disesuaikan dengan besarnya beban dan kecepatan torak.
- d. Adanya kerugian energi akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder dan mesin.
- e. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam sekitarnya. (Arismunandar, Wiranto, 1988)



**Gambar 2.8** Diagram P-V Siklus Actual  
 Sumber: Arismunandar, Wiranto, 1988

## 2.4 Sistem Bahan Bakar

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 (storage 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)

### 2.4.1 Bahan Bakar 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. Komponen-nya didominasi propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana ( $C_2H_6$ ) dan pentana ( $C_5H_{12}$ ). 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 pro-pana, dan elpiji butana. Elpiji mempunyai beberapa sifat yang antara lain adalah sebagai berikut.

- a. Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar.
- b. Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau menyengat karena terdapat tambahan zat pembau.
- c. Gas dikirimkan sebagai cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
- d. Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat.

Gas ini lebih berat dibanding udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah (Yudisworo, 2014)

#### **2.4.2 Bahan Bakar Gas Hasil Gasifikasi Sampah**

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar menjadi gas yang bisa terbakar, melalui reaksi termokimia dengan menggunakan sejumlah oksigen yang kurang dari stoikiometri. Sama halnya dengan pirolisis, pada gasifikasi juga terjadi dekomposisi bahan bakar. Jika untuk pirolisis dekomposisi terjadi tanpa adanya oksigen sama sekali, namun untuk gasifikasi dibutuhkan oksigen dengan jumlah tertentu. Gasifikasi biasanya dibuat di ruangan yang bisa diatur jumlah udara masukannya yang dikenal sebagai reaktor

Jadi pada penelitian ini saya menggunakan tipe Gasifikasi updraft, merupakan reaktor gasifikasi yang umum digunakan secara luas. Ciri khas dari reaktor gasifikasi ini adalah aliran udara dari blower masuk melalui bagian bawah reaktor

melalui grate sedangkan aliran bahan bakar masuk dari bagian atas reaktor sehingga arah aliran udara dan bahan bakar memiliki prinsip yang berlawanan (counter current). Dengan menggunakan biomassa serbuk kayu dan tempurung kelapa (vidian, 2008).

## 2.5 Dasar Perhitungan

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

### 2.5.1. Pengujian Menggunakan LPG

#### a. Daya Efektif (BP)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar itu sendiri, semakin cepat putaran mesin, rpm yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga momen putar motornya, semakin banyak jumlah gigi pada roda giginya semakin besar torsi yang terjadi. Dengan demikian jumlah putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor. Maka daya efektif dari mesin merupakan karakteristik mesin dalam pembangkitan daya pada berbagai kondisi operasi, dapat dihitung dari persamaan:

$$BP = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot \tau}{w \cdot 1000}$$

Dimana:

BP= Daya efektif, (kW)

N = Putaran mesin, (RPM)

$\tau$  = Momen torsi, (N.m)

w = waktu, (s)

b. Laju Konsumsi Bahan Bakar

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 tabung gas, dapat dihitung dari persamaan:

$$\dot{m}_f = \rho_{LPG} \cdot A_{selang\ gas\ LPG} \cdot V_{LPG}$$

Dimana :

$\dot{m}_f$  = Laju konsumsi bahan bakar, (kg/s)

$\rho_{LPG}$  = Massa jenis LPG, (kg/m<sup>3</sup>)

$A_{selang\ gas\ LPG}$  = Luas selang gas LPG, (m<sup>2</sup>)

$V_{LPG}$  = Kecepatan LPG, (m/s)

c. Laju Konsumsi Udara

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. Laju konsumsi udara dapat dihitung dari persamaan:

$$\dot{m}_a = \rho_{udara} \cdot A_{konsumsi\ udara} \cdot V_{udara}$$

Dimana :

$\dot{m}_a$  = Laju konsumsi udara, (kg/s)

$\rho_{udara}$  = Massa jenis udara, (kg/m<sup>3</sup>)

$A_{konsumsi\ udara}$  = Luas konsumsi udara, (m<sup>2</sup>)

$V_{udara}$  = Kecepatan udara, (m/s)

d. 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 :

$$AFR_{Aktual} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

Dimana:

$AFR_{Aktual}$  = Rasio udara bahan bakar

$\dot{m}_a$  = Laju konsumsi udara, (kg/s)

$\dot{m}_f$  = Laju konsumsi bahan bakar, (kg/s)

e. Nilai kalor yang di suplai ( $Q_{in}$ )

Nilai kalor yang disuplai adalah jumlah kalor yang tersedia dalam bahan bakar. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Q_{in} = \frac{\dot{m}_f \cdot HVF_{bb}}{3600}$$

Dimana:

$Q_{in}$  = Nilai kalor yang di suplai (kW)

$\dot{m}_f$  = Laju konsumsi bahan bakar, (kg/s)

$HVF_{bb}$  = nilai kalor bahan bakar, (kJ/kg)

f. 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:

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

Dimana:

$\eta_{th}$  = Efisiensi thermis, (%)

BP = Daya efektif, (kW)

$Q_{in}$  = Nilai kalor yang di suplai, (kW)

### 2.5.2. Pengujian Menggunakan Syngas

#### a. Daya Efektif (BP)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Dapat dihitung dari persamaan:

$$BP = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot \tau}{w \cdot 1000}$$

Dimana:

BP= Daya efektif, (kW)

N = Putaran mesin, (RPM)

$\tau$  = Momen torsi, (N.m)

w = waktu, (s)

#### b. Laju Konsumsi Bahan Bakar Biomassa

Laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar bahan bakar yang digunakan dalam operasi reaktor dibagi dengan waktu operasi. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$FCR \text{ atau } \dot{m}_f = \frac{\text{Massa biomassa yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (s)}}$$

#### c. Laju Konsumsi Udara

Laju konsumsi udara adalah massa udara yang mengalir per satuan waktu kedalam reaktor. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$\dot{m}_{as} = \rho_{udara} (kg/m^3) \times A_{pipa \text{ udara supply}} (m^2) \times V_u (m/s)$$

Dimana :

$\dot{m}_a$  = Laju konsumsi udara

$\rho_{udara}$  = Massa jenis udara

$A_{pipa}$  = Luas konsumsi udara

$V_{udara}$  = Kecepatan udara

d. Laju Alir Syngas

Laju alir syngas adalah massa syngas yang mengalir per satuan waktu. Laju alir syngas juga merupakan banyaknya jumlah syngas yang dapat dihasilkan dari proses gasifikasi per satuan waktu. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$\dot{m}_s = \rho_{syngas}(kg/m^3) \times A_{selang\ syngas}(m^2) \times v_s(m/s)$$

Dimana :

$\dot{m}_s$  = Laju konsumsi udara

$\rho_{syngas}$  = Massa jenis syngas

$A_{selang\ syngas}$  = Luas selang syngas

$V_s$  = Kecepatan syngas

e. Rasio Udara Bahan Bakar Biomassa Aktual

Untuk menghitung AFR dalam 1 kali operasi dengan waktu tertentu dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$AFR_{Aktual} = \frac{\dot{m}_{as}}{\dot{m}_f}$$

Dimana:

$AFR_{Aktual}$  = Rasio udara bahan bakar

$\dot{m}_{as}$  = Laju konsumsi udara

$\dot{m}_f$  = Laju konsumsi bahan bakar

f. Nilai kalor yang di suplai ( $Q_{in}$ )

Nilai kalor yang disuplai adalah jumlah kalor yang tersedia dalam bahan bakar. Ini dihitung menggunakan rumus:

$$Q_{in} = \frac{\dot{m}_f \cdot HVF_{bb}}{3600}$$

Dimana:

$Q_{in}$  = Nilai kalor yang di suplai (kW)

$\dot{m}_f$  = Laju konsumsi bahan bakar, (kg/s)

$HVF_{bb}$  = nilai kalor bahan bakar, (kJ/kg)

g. 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:

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

Dimana:

$\eta_{th}$  = Efisiensi thermis, (%)

BP = Daya efektif, (kW)

$Q_{in}$  = Nilai kalor yang di suplai, (kW)