



TUGAS AKHIR - TM 090340

**STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA MESIN
BENSIN EMPAT LANGKAH SATU SILINDER
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BENSIN DAN
GAS LPG**

ARIF RAKHMAN CAHYONO
NRP 2110 030 046

Dosen Pembimbing
Ir. Joko Sarsetyanto, MT

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 090340

**COMPARATIF STUDY OF FOUR-STROKE
SINGLE - CYLINDER GASOLINE ENGINE
PERFORMANCE USING GASOLINE AND LPG FUEL**

ARIF RAKHMAN CAHYONO
NRP 2110 030 046

Counselor Lecturer
Ir. Joko Sarsetyanto, MT

D III STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA MOTOR
BENSIN EMPAT LANGKAH SATU SILINDER
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR BENSIN DAN GAS
LPG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ARIF RAKHMAN CAHYONO

Nrp. 2110 030 046

SIURABAYA, JANUARI 2015

Ditandatangani Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Joko Sarsetyanto, MT

NIP. 19610421 198701 1 001

STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA MESIN BENSIN EMPAT LANGKAH SATU SILINDER MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BENSIN DAN GAS LPG

Nama Mahasiswa : Arif Rakhman Cahyono
NRP : 2110 030 046
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetyanto, MT

Abstrak

Krisis energi khususnya bahan bakar fosil yang terjadi di Indonesia maupun di seluruh dunia disebabkan kebutuhan akan energi semakin meningkat. Oleh karena itu dibutuhkan energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil tersebut. LPG (Liquid Petroleum Gas) merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan sebagai energi alternatif.

Untuk menggunakan bahan bakar LPG perlu dilakukan modifikasi pada motor bensin, dengan memasang peralatan tambahan konverter kit dan mixer venturi. Konverter kit digunakan sebagai pengatur penggunaan bahan bakar lpg. Mixer venturi sebagai mekanisme pencampur udara dan bahan bakar sebelum masuk ke dalam ruang bakar mesin.

Unjuk kerja terbaik diperoleh pada putaran mesin 3400 rpm. Dengan data, BHP= 4270,4 watt, Torsi= 12 Nm, BMEP= 1205,76 Kpa, BSFC= $2,2 \times 10^{-3}$ Kg/Wh, dan efisiensi mencapai 3,6 %. Sedangkan menggunakan bensin, pada putaran 3400 dengan data, efisiensi= 6,13 % dengan BHP= 4626,3 Watt, Torsi= 13 Nm, BSFC= $1,3 \times 10^{-3}$ Kg/Wh, BMEP= 1480,41Kpa. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sepeda motor menggunakan bahan bakar LPG sedikit lebih efisien daripada menggunakan bensin.

Kata kunci: unjuk kerja, mixer venturi, Bensin, LPG.

COMPARATIF STUDY OF FOUR-STROKE SINGLE-CYLINDER GASOLINE ENGINE PERFORMANCE USING GASOLINE AND LPG FUEL

Student Name : Arif Rakhman Cahyono
NRP : 2110 030 046
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Counselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetyanto, MT

Abstract

The energy crisis of fossil fuels in Indonesia and around the world are increas it could by the increasing of energy demand. Therefore we need alternative energy to replace the fossil fuels. LPG (Liquid Petroleum Gas) is an environmentally friendly fuel that can be used as an alternative energy.

Using LPG for motorcycle needs to make modifications to the gasoline engine by using a kit converter and venturi mixer. Converter kit is used to LPG regulator and venturi mixer is used to mixed air and fuel before it goes into the engine combustion chamber.

On the cruising speed of 3400 rpm : BHP= 4270,4 watt, Torsi= 12 Nm, BMEP= 1205,76 Kpa, BSFC= $2,2 \times 10^{-3}$ Kg/Wh and the efficiency reached 6,22 %. While using gasoline, efficiency = 3,6 % with BHP= 4626,3 Watt, Torsi= 13 Nm, BSFC= $1,3 \times 10^{-3}$ Kg/Wh, BMEP= 1480,41Kpa. From the data it can be cloudid that the motorcycle fueled with slighly efficient than with gasoline.

Keyword : performance, ventury mixer, Gasoline, LPG Fuel.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menuntaskan seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul :

STUDI PERBANDINGAN UNJUK KERJA MESIN BENSIN EMPAT LANGKAH SATU SILINDER MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BENSIN DAN GAS LPG

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan akademis untuk memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Konversi Energi di Program Studi D3 Teknik Mesin , Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak bantuan serta dukungan yang penulis dapatkan selama penyusunan dan pembuatan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Untuk hal itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku Kepala Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
2. Bapak Ir. Joko Sarsetyanto, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan restu sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini. Apa yang

telah bapak berikan menjadi inspirasi dan semangat baru bagi saya, terima kasih.

3. Bapak Ir. Budi Luwar, MT selaku dosen wali.
4. Ibu Liza Rusdiyana, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS
5. Bapak / Ibu dosen dan seluruh karyawan Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membimbing dan membantu selama perkuliahan.
6. Ayah, Ibu, dan Adek yang selalu memberikan suport, cinta kasih, doa dan dukungan. Serta Keluarga Besar Ku, Terima Kasih atas nasehat, doa, saran dan dukungan moral maupun material.
7. Teman-teman seperjuangan TA, Benny Prasetyatna Putra dan Gigieh Ramadhan Budiyanto.
8. Bapak Ribut dan Bapak Catur di PPPPTK Bidang Otomotif dan Elektronika VEDC-Malang, Serta karyawan yang turut membantu pengujian TA ini.
9. Bapak Yanto yang telah membantu dan melancarkan akomodasi kendaraan ke VEDC Malang.
10. Teman-teman Pengurus Himpunan D3 Teknik Mesin Periode 2012/2013, Teman-teman Warga D3 Teknik Mesin dan Angkatan 2010, Atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat luas khususnya masyarakat akademis. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberi ide baru untuk pengembangan lebih lanjut beserta aplikasinya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Versi bahasa Indonesia).....	i
HALAMAN JUDUL (Versi bahasa Inggris).....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK (Bahasa Indonesia)	v
ABSTRAK (Bahasa Inggris).....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Metode Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Mesin Bensin Empat Langkah.....	5
2.1.1 Prinsip Kerja.....	5
2.1.2 Kontruksi	8
2.2 Siklus Aktual Motor Bensin Empat Langkah	17
2.2.1 Langkah Hisap	17
2.2.2 Langkah Kompresi	18
2.2.3 Langkah Ekspansi	19
2.2.4 Langkah Buang	19
2.3 Bahan Bakar	21
2.3.1 Bahan Bakar LPG.....	21

2.3.2 Bahan Bakar Bensin	22
2.4 Proses Pembakaran	23
2.4.1 Perbandingan Udara-Bahan Bakar	23
2.4.2 Pembakaran dalam SIE	24
2.5 Modifikasi Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas	25
2.5.1 Mixer	25
2.5.2 Pressure Regulator Manual	26
2.6 Pengukuran Tekanan dan Laju Bahan Bakar Gas	27
2.6.1 Pengukuran Tekanan Bahan Bakar Gas	27
2.6.2 Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas	27
2.7 Unjuk Kerja	30
2.7.1 Daya	30
2.7.2 Torsi (T)	31
2.7.3 Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)	32
2.7.4 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)	32
2.7.5 Efisiensi Termis	33
2.7.6 Grafik Unjuk Kerja	34
2.8 Koreksi ρ_1 dengan faktor suhu ruangan dan tekanan	35

BAB III METODOLOGI

3.1 Penelitian	37
3.2 Tempat Penelitian	37
3.3 Peralatan Percobaan	37
3.4 Bahan Bakar Uji	43
3.5 Instalasi Percobaan	43
3.6 Prosedur Percobaan	45
3.7 Sistem Penelitian	47
3.8 Diagram Alir Percobaan	49

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian	51
4.2 Perhitungan Performa Mesin Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin	52
4.2.1 Perhitungan Daya Motor atau Brake Horse Power	

(BHP)	52
4.2.2 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)	53
4.2.3 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)	54
4.2.4 Perhitungan Efisiensi Thermis (η_{th})	55
4.2.5 Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin	57
4.2.6 Grafik Unjuk Kerja pada Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Bensin	58
4.3 Analisa Hasil Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG	59
4.3.1 Perhitungan Tekanan Statis Gas LPG (P_{st})	59
4.3.2 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG (\dot{m})	60
4.3.3 Perhitungan Daya Motor atau Brake Horse Power (BHP)	65
4.3.4 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)	66
4.3.5 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)	67
4.3.6 Perhitungan Efisiensi Thermis (η_{th})	68
4.3.7 Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas LPG	70
4.3.8 Grafik Unjuk Kerja pada Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG	71
4.4 Grafik Perbandingan dan Pembahasan	72
4.4.1 Grafik Perbandingan dan Pembahasan BHP	72
4.4.2 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Torsi	73
4.4.3 Grafik Perbandingan dan Pembahasan BMEP	74
4.4.4 Grafik Perbandingan dan Pembahasan BSFC	75
4.4.5 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Efisiensi	76
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

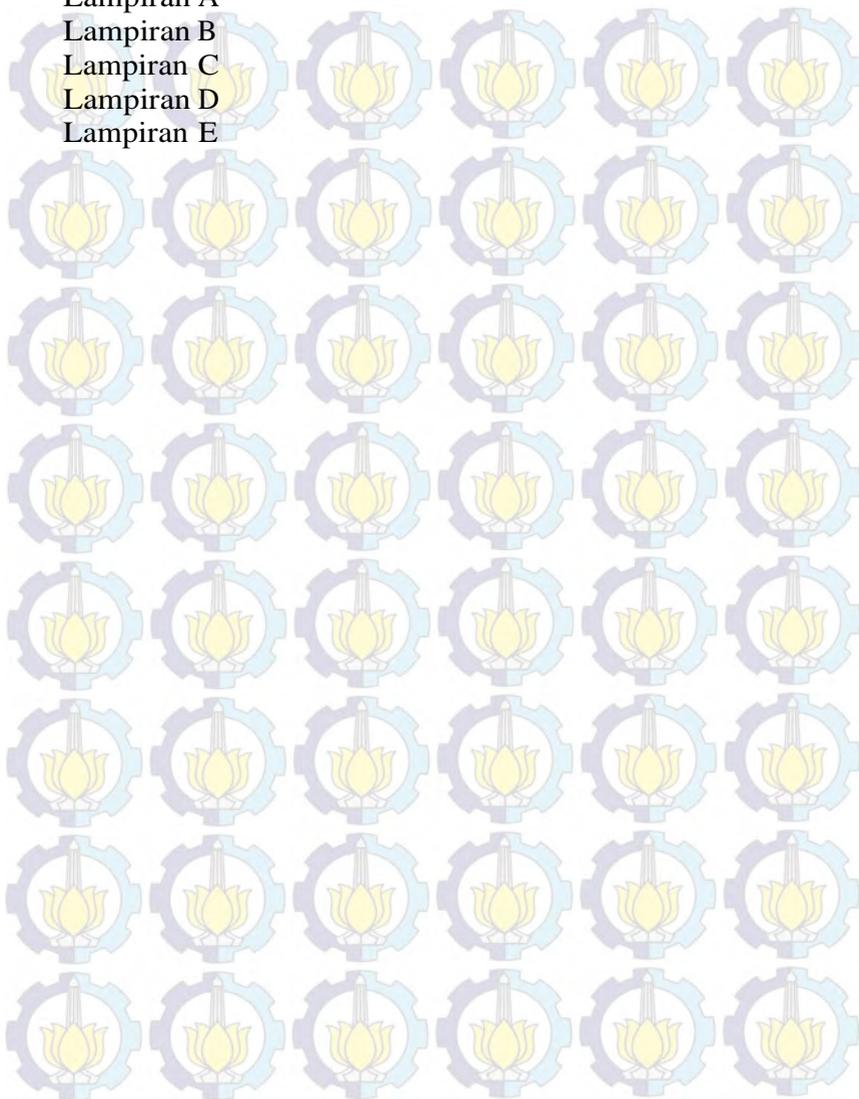
Lampiran A

Lampiran B

Lampiran C

Lampiran D

Lampiran E



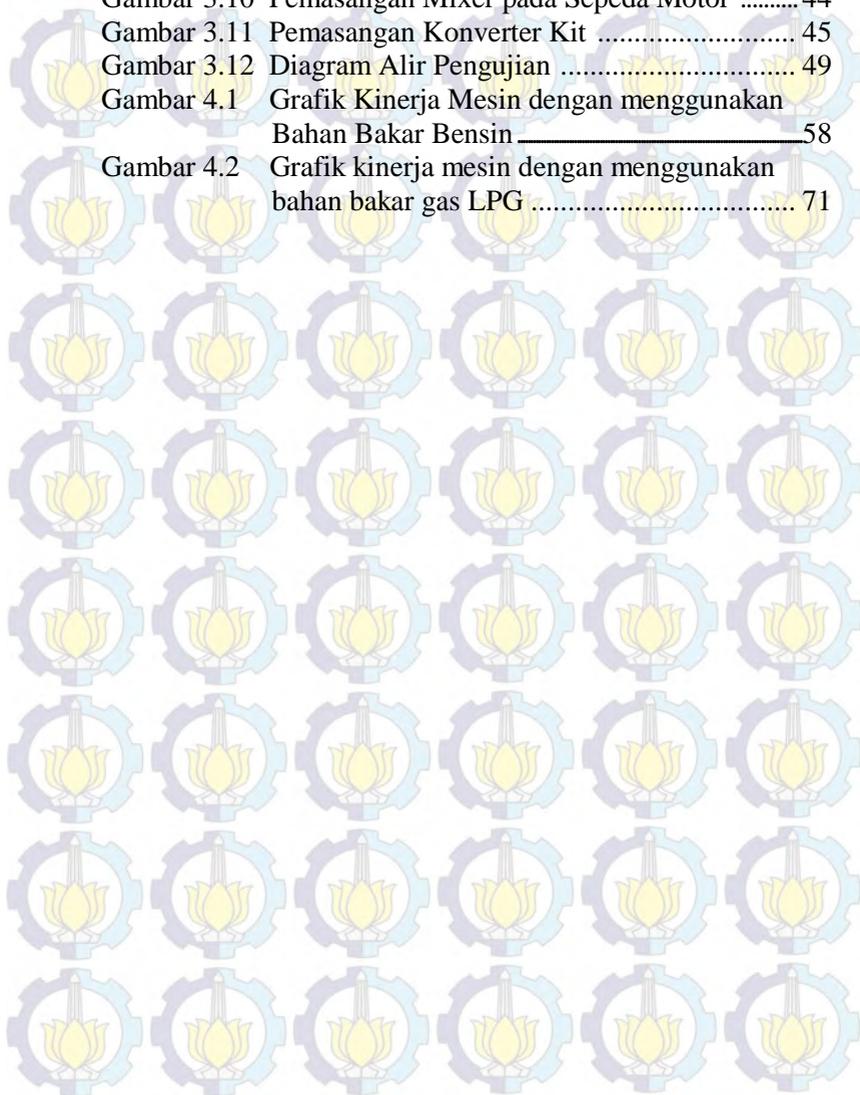
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Spesifikasi dan Jenis Modifikasi Mixer	43
Tabel 3.2.	Nilai Massa Jenis Bahan Bakar uji.....	43
Tabel 4.1.	Data hasil Dynotest untuk Bahan Bakar Uji.....	51
Tabel 4.2.	Data hasil Dynotest untuk Bahan Bakar Gas	51
Tabel 4.3.	Data hasil perhitungan Daya Motor (BHP).....	53
Tabel 4.4.	Data hasil perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata	54
Tabel 4.5.	Data hasil perhitungan konsumsi bahan bakar (BSFC)	55
Tabel 4.6.	Data Hasil Perhitungan Efisiensi Thermis	56
Tabel 4.7.	Data Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin	57
Tabel 4.8.	Data Pengukuran Perbedaan Ketinggian Manometer Tabung U pada Orifice Bahan Bakar Gas LPG.....	59
Tabel 4.9.	Data Hasil Pengukuran Tekanan Statis pada Setiap Variasi Putaran	60
Tabel 4.10.	Data Hasil Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG menggunakan desain Mixer Venturi	65
Tabel 4.11.	Data hasil Perhitungan Daya Motor (BHP).....	66
Tabel 4.12.	Data Hasil Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata Sepeda Motor dengan Bahan Bakar Gas LPG	67
Tabel 4.13.	Data Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Gas LPG	68
Tabel 4.14.	Data Hasil Perhitungan Efisiensi Thermis	70
Tabel 4.15.	Data Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas LPG	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Siklus empat langkah	6
Gambar 2.2.	Diagram P vs dari siklus ideal mesin bensin empat langkah	7
Gambar 2.3.	Kontruksi mesin bensin empat langkah	9
Gambar 2.4.	Crankshaft/poros engkol	10
Gambar 2.5.	Torak/Piston	11
Gambar 2.6.	Mekanisme katup	12
Gambar 2.7.	Bagian-bagian karburator	13
Gambar 2.8.	Kontruksi busi	16
Gambar 2.9	Diagram P- Siklus Aktual	17
Gambar 2.10.	Langkah Hisap	18
Gambar 2.11.	Langkah Kompresi	18
Gambar 2.12.	Langkah Ekspansi	19
Gambar 2.13.	Langkah Buang	20
Gambar 2.14.	Air Fuel Ratio	24
Gambar 2.15.	Diagram P- theories	24
Gambar 2.16.	Alat ukur presure regulator	27
Gambar 2.18.	Tabung pitot manometer pipa U	27
Gambar 2.19	Grafik Hasil Pengujian Speed dengan Katup	34
Gambar 2.20	Grafik Hasil Pengujian BHP, Torque dan BMEP	34
Gambar 2.21	Specific Consumption pada pengujian constan speed dan variable speed	35
Gambar 3.1.	Motor Bensin Empat langkah Satu Silinder ..	38
Gambar 3.2.	Pengujian Dynotest	39
Gambar 3.3.	Tachometer	39
Gambar 3.4.	Tabung Pitot	40
Gambar 3.5.	Manual Valve	40
Gambar 3.6.	Mixer Venturi Masukan	41
Gambar 3.7.	Anemometer	42
Gambar 3.8.	Pemasangan Regulator Manual	42

Gambar 3.9	Instalasi Percobaan	44
Gambar 3.10	Pemasangan Mixer pada Sepeda Motor	44
Gambar 3.11	Pemasangan Konverter Kit	45
Gambar 3.12	Diagram Alir Pengujian	49
Gambar 4.1	Grafik Kinerja Mesin dengan menggunakan Bahan Bakar Bensin	58
Gambar 4.2	Grafik kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar gas LPG	71



DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, Wiranto. 2002. **Penggerak Mula Motor Bakar Torak**. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

Burhanuddin, Tulus. 2002. **Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif**. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara.

Dwi Utomo, Bima. 2012. **RANCANG BANGUN MIXER VENTURI BERTEKANAN RENDAH UNTUK MEMODIFIKASI MOTOR BERBAHAN BAKAR BENSIN MENJADI MOTOR BERBAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN TINGKAT KEMURNIAN DI BAWAH 70%**Surabaya : Program Studi D-III Teknik Mesin FTI-ITS.

Fox, Robert W. 1990. **Introduction to Fluid Mechnics**, third edition, United State of America.

Mustadi, Lalu. 1998. **Upaya Peningkatan Prestasi Engine Melalui Modifikasi Saluran Bahan Bakar Gas Pada Ventury Mixer**. Universitas Indonesia.

Obert, E.F. 1983. **Internal Combustion Engine and Air Pollution**. Pennsylvania : Internal Textbook Co.

Tirtoatmodjo, Rahardjo. 1999. **Peningkatan Performance Motor Bensin 4 Tak 3 Silinder yang Menggunakan Bahan Bakar Gas dengan Penambahan Blower dan Sistem Injeksi**. Universitas Kristen Petra.

Mutiarafat, Rini. **Prinsip Kerja Motor Empat Tak Bensin**,
<URL: <http://mutiarafatrini.blogspot.com/p/definisi-motor-bensin.html>>

Anonim. 2013. **Densities, molecular weight and chemical formulas of some common gases can be found in the table below**,
<URL:http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html>





BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 12 Juli 1992, dari pasangan Bapak Agus Sumaryono dan Ibu Lilik Purwanti, merupakan putra pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh dimulai dari SDI Kardina Massa, SMP Negeri 1 Blitar, dan SMA Negeri 3 Blitar dengan bidang studi IPA.

Setelah lulus SMA pada tahun 2010, penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D 3 Teknik Mesin ITS Surabaya. Di jurusan D3 Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi dengan NRP 2110.030.046. Selama pendidikan baik di perkuliahan penulis aktif di beberapa kegiatan, seperti mengikuti pelatihan-pelatihan di tingkat kampus. Menjadi panitia seminar, pelatihan dan organisasi kemahasiswaan. Pada masa berorganisasi, penulis pernah menjabat sebagai Asisten Direktur bidang Bisnis di Kopma dr. Angka ITS. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. BBI persero (Boma Bisma Indra), Surabaya, Jawa Timur.

Alamat e-mail :

- arifrakhman.1207@gmail.com

No. Telp :

- 085 746 304 666
- 081 330 952 605

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan utama di dunia perindustrian. Tetapi bahan bakar juga merupakan suatu masalah penting yang dihadapi perindustrian, terutama bahan bakar minyak seperti bensin dan solar. Kenaikan harga bahan bakar minyak memunculkan kesadaran bahwa selama ini dunia masih sangat tergantung pada sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki permasalahan krisis energi. Cadangan energi semakin hari semakin menyusut. Hal ini juga diperparah dengan pemborosan dalam penggunaan energi tersebut. Penduduk yang semakin meningkat juga menyebabkan ketersediaan akan energi semakin berkurang karena konsumsi energi per kapita akan meningkat.

Indonesia mempunyai potensi sumber energi terbarukan yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi atau bahan bakar alternatif pengganti energi fosil yang produksinya telah menurun. Sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan salah satunya adalah bahan bakar gas berupa LPG (*Liquid Petroleum Gas*) yang merupakan salah satu gas bumi dengan cadangan cukup besar di Indonesia. Pada umumnya motor bakar seperti sepeda motor masih menggunakan bahan bakar berbentuk liquid yakni bahan bakar bensin. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian mengenai mesin sepeda motor berbahan bakar bensin untuk dimodifikasi menggunakan bahan bakar gas.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya mengenai modifikasi genset motor bensin empat langkah menjadi genset dengan bahan bakar LPG. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada nilai-nilai yang menjadi parameter unjuk kerja sepeda motor seperti efficiency, fuel consumption dan flow rate dari mesin.

Pada tugas akhir ini akan dibahas perbandingan unjuk kerja antarasepeda motor empat langkah satu silinder menggunakan bahan bakar bensin dengan menggunakan bahan bakar gas LPG, serta analisis terhadap Brake Horse Power yang dihasilkan, torsi, specific fuel dan effisiensinya.

1.2 Permasalahan

Dari uraian di atas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah bagaimana perbandingan antara unjuk kerja sepeda motor empat langkah menggunakan bahan bakar bensin dengan menggunakan bahan bakar gas LPG.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara unjuk kerja sepeda motor empat langkah menggunakan bahan bakar bensin dengan menggunakan bahan bakar gas LPG.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada sepeda motor bensin 4 langkah 1 silinder dengan volume silinder 125 CC.
2. Bahan bakar gas lpg yang digunakan adalah gas LPG 3 kg yang diproduksi pertamina dengan campuran propana dan butananya 30% :70%
3. Mixer venture tidak diuji secara khusus, tapi diuji secara langsung pada mesin sepeda motor.
4. Kondisi temperatur udara sekitar dianggap ideal.
5. Tidak membahas reaksi kimia pada penggunaan bahan bakar Bensin dan gas LPG.
6. Tidak memajukan titik pengapian.
7. Tidak melakukan analisa pelumasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan bagi ilmu pengetahuan serta dapat member informasi dan inspirasi kepada masyarakat umum tentang keunggulan penggunaan bahan bakar gas LPG dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin pada sepeda motor empat langkah ditinjau dari parameter unjuk kerjanya.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah :

1. *Studi Literatur*

Dasar-dasar pengetahuan mengenai tema dari tugas akhir ini, dilakukan dengan observasi, konsultasi dengan beberapa dosen D3 Teknik Mesin FTI-ITS, mencari referensi pada buku, makalah, jurnal-jurnal yang berhubungan dengan unjuk kerja mesin bahan bakar gas dan bahan bakar gas LPG dengan tujuan mendapatkan acuan untuk analisa dan perhitungan.

2. *Studi Laboratorium*

Melakukan pengujian di Workshop D3 Teknik Mesin FTI-ITS, laboratorium Motor Bakar dengan peralatan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Selain itu penulis juga melakukan pengujian sepeda motor di workshop PPPPTK & VEDC Malang.

3. *Analisa Data*

Data-data aktual hasil pengujian dianalisis dengan tujuan mengetahui perbandingan penggunaan bahan bakar bensin dengan bahan bakar gas LPG terhadap parameter unjuk kerja mesin sepeda motor empat langkah satu silinder.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian, perhitungan dan pemecahan masalah yang berguna untuk analisa dan koreksi data yang telah diperoleh.

BAB III METODOLOGI PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan metodologi dan diagram alir dari pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian.

BAB IV DATA DAN ANALISA PENGUJIAN

Pada bab ini berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dan contoh perhitungan unjuk kerja antara mesin sepeda motor bahan bakar bensin dengan bahan bakar gas LPG.

BAB V KESIMPULAN

Pada akhir pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Motor Bensin Empat Langkah

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 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. Didalam silinder itulah terjadi proses pembakaran bahan bakar dengan udara. Gas pembakaran yang dihasilkan oleh proses tersebut mampu menggerakkan piston yang oleh batang penggerak dihubungkan dengan poros engkol.

Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor melakukan gerakan berulan 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 yang uji yang digunakan adalah motor Otto (spark ignition engine) dengan sistem 4 langkah.

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° pada putaran *crankshaft* sehingga dalam satu siklus membutuhkan 720° .

Beberapa kejadian berikut, membentuk siklus dalam motor bensin :

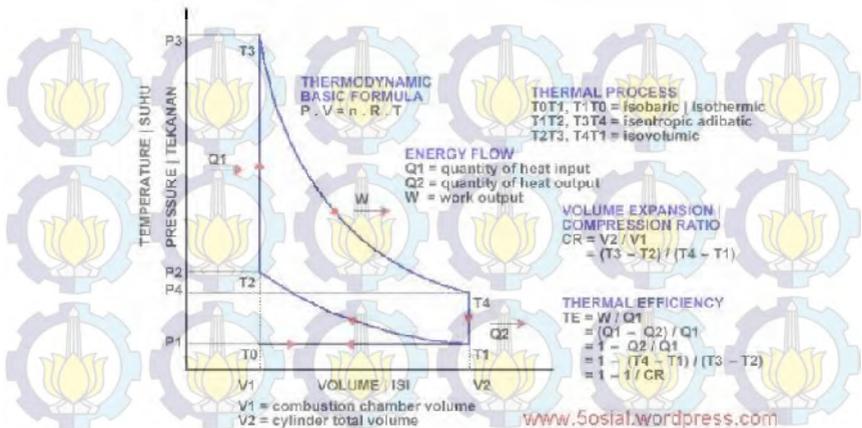
1. Mengisi silinder mesin dengan campuran udara bahan bakar.

2. Kompresi campuran udara bahan bakar yang menaikkan tekanan dan suhu sehingga kalau bahan bakar diinjeksikan, akan segera menyala dan terbakar secara efisien.
3. Pembakaran bahan bakar dan ekspansi gas panas.
4. Mengeluarkan hasil pembakaran dari silinder.

Masing-masing dari keempat kejadian ini terjadi secara berulang-ulang pada waktu mesin menyala. Jika masing-masing dari keempat kejadian ini memerlukan langkah torak yang terpisah, maka daurnya disebut daur empat langkah. Empat kejadian utama ditunjukkan secara skematis pada gambar diatas.



Gambar 2.1 Siklus 4 Langkah
 (Sumber: <http://www.otomotrip.com>)



Gambar 2.2. Diagram P vs v dari siklus ideal mesin bensin 4 langkah (Sumber: www.5osial .wordpress.com)

Proses (0-1) : Langkah Hisap

Pada langkah hisap posisi katup hisap dalam keadaan terbuka, katup buang dalam keadaan menutup serta torak bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju ke TMB (titik mati bawah). Akibatnya terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan terisapnya campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder.

Proses (1-2) : Langkah Kompresi Isentropik

Setelah bahan bakar masuk ke dalam silinder torak masih bergerak dari TMA menuju ke TMB, katup hisap mulai menutup sehingga kedua katup dalam keadaan tertutup. Dengan demikian campuran udara dan bahan bakar tersebut dikompresi oleh tekanan torak ketika torak bergerak dari TMB menuju TMA.

Proses (2-3): Proses Pembakaran Pada Volume Konstan

Proses pembakaran terjadi sesaat sebelum torak mencapai TMA, busi memercikkan bunga api listrik pada ujung elektrodanya yang menyebabkan terbakarnya campuran udara dan bahan bakar. Akibat proses pembakaran, tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan terjadi ledakan. Sesudah torak mencapai TMA energi yang dihasilkan segera diekspansikan oleh torak.

Proses (3-4): Langkah Ekspansi Isentropik

Ledakan yang terjadi di dalam silinder mengakibatkan tekanan meningkat dan mendorong torak menuju TMB. Pada langkah ini posisi katup hisap dan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Selama proses ekspansi ini tekanan dan temperatur mulai turun sedikit demi sedikit dan berlangsung proses isentropik.

Proses (4-1): Proses Pembuangan Pada Volume Konstan

Proses pembuangan sejumlah gas pembakaran terjadi pada saat torak mencapai TMB. Pada langkah ini, posisi katub buang terbuka dan katup hisap tertutup. Pada proses ini berlangsung pada volume konstan.

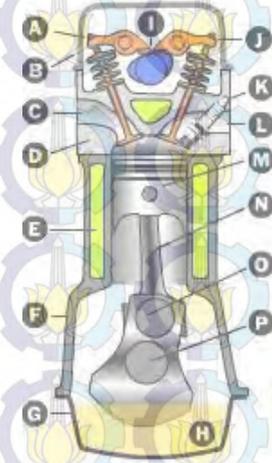
Proses (1-0): Langkah Buang

Pada langkah buang posisi katup isap dalam keadaan menutup dan katup buang dalam keadaan terbuka sehingga gas bekas keluar dengan sendirinya. Torak bergerak dari TMB menuju ke TMA, mendorong gas sisa pembakaran yang selanjutnya keluar menuju saluran keluar (exhaust manifold).

2.1.2 Kontruksi

Pada motor empat langkah terdapat banyak komponen yang saling bekerja secara berkaitan. Komponen-komponen

tersebut memiliki fungsi kerja masing-masing. Berikut ini adalah konstruksi dari komponen-komponen yang berada pada motor empat langkah beserta fungsinya masing-masing.



Gambar 2.3. Konstruksi mesin bensin empat langkah
(www.howstuffworks.com)

Keterangan :

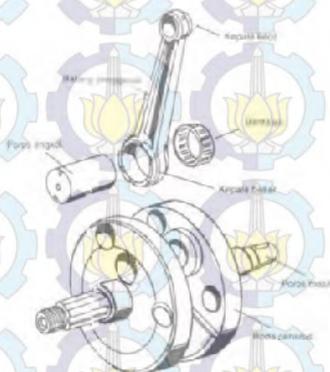
- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| a. Mekanisme intake valve | e. Saluran pendingin |
| b. Cover valve | f. Blok engine |
| c. Saluran intake | g. Bak oli |
| d. Cylinder head | h. Penghisap oli |
| i. Camshaft | m. Piston |
| j. mekanisme exhaust valve | n. Batang penghubung |
| k. Busi | o. Bearing crankshaft |
| l. Saluran exhaust | p. Crankshaft |

Beberapa komponen-komponen dalam mesin motor bensin 4 langkah adalah:

1. Poros engkol

Poros engkol merupakan bagian utama dari mesin yang berputar. Poros inilah yang menggerakkan beban, baik secara

langsung maupun melalui roda transmisi. Poros engkol mempunyai satu atau lebih bagian eksentrik yang dinamakan engkol dan terdiri dari pena engkol dan lengan engkol. Poros engkol yang bertumpu pada bantalan itu dihubungkan dengan torak oleh batang penggerak atau pena engkol dan dengan torak oleh pena torak. Dengan demikian gerakan translasi torak sepanjang TMA-TMB-TMA akan memutar poros engkol dalam satu putaran, dan sebaliknya.



Gambar 2.4. Cranks shaf /poros engkol

2. Torak (Piston)

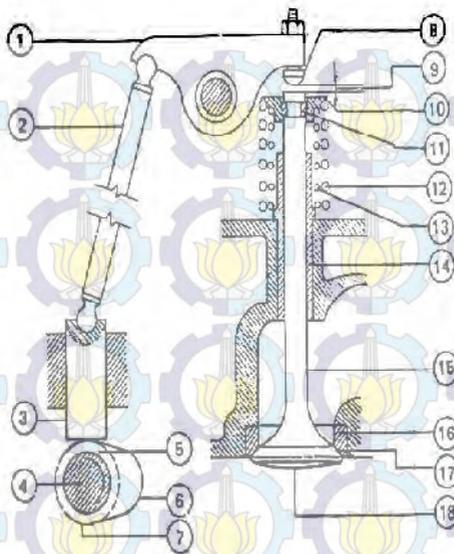
Torak merupakan bagian mesin yang bersinggungan langsung dengan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi, torak bergerak translasi dengan kecepatan tinggi. Torak pada mesin bensin empat tak dilengkapi dengan tiga ring torak. Ring pada bagian atas berfungsi agar gas pembakaran yang bertekanan tinggi tidak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



*Gambar 2.5 Torak/Piston
(Sumber: <http://gambar.otomotifnet.com>)*

3. Katup (Valve)

Untuk mesin empat langkah pemasukan bahan bakar dan pembuangan gas sisa pembakaran dilakukan melalui katup masuk dan katup buang. Terbuka dan tertutupnya kedua katup tersebut diatur oleh perputaran poros kam atau poros hubungan. Untuk membedakan antara katup hisap dan katup buang dapat dilihat dari diameter katup. Diameter katup hisap lebih besar daripada katup buang. Ukuran katup hisap ini berfungsi untuk memperbanyak jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Pembukaan dan penutupan katup diatur melalui mekanisme yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



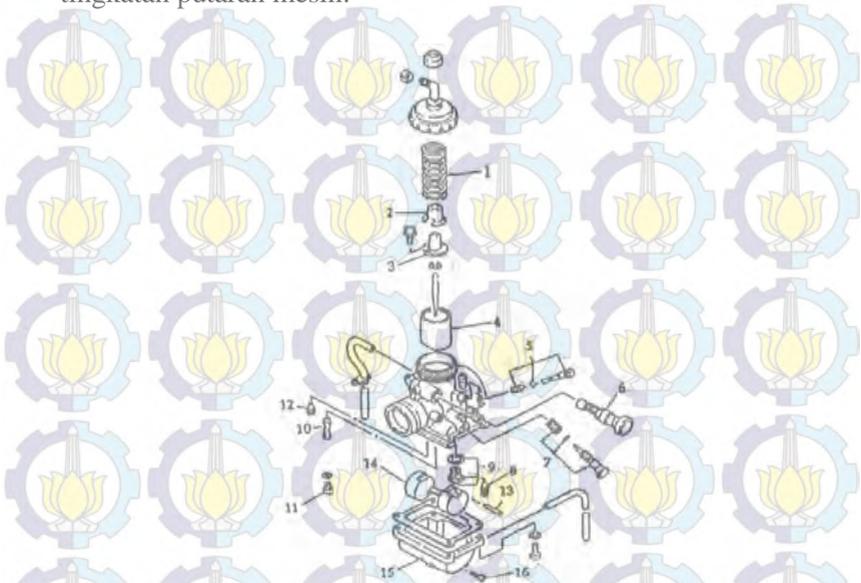
Gambar 2.6. Mekanisme katup
(Arismunandar, 2002:12)

Keterangan:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Tuas | 10. Penahan pegas |
| 2. Batang penekan | 11. Pemegangan |
| 3. Pengikut kam
(<i>tapet</i>) | 12. Pegas luar |
| 4. Poros bubungan | 13. Pegas dalam |
| 5. Bubungan | 14. Jalan katup |
| 6. Ujung bubungan | 15. Batang katup |
| 7. Lingkaran dasar
bubungan | 16. Dudukan katup |
| 8. Batang penekan | 17. Bidang rapat
katup |
| 9. Jarak bebas katup | 18. Kepala katup |
| 4. Karburator | |

Karburator berfungsi memasukkan campuran udara-bahan bakar kedalam ruang bakar dalam bentuk kabut dan

mencampur dengan perbandingan yang tepat pada setiap tingkatan putaran mesin.



Gambar 2.7. Bagian bagian karburator

Keterangan:

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| 1. Pegas katup gas | 14. Pelampung |
| 2. Stoper kabel gas | 15. Tutup ruang pelampung |
| 3. Dudukan jarum skep | 16. Baut penguras |
| 4. Katup gas | |
| 5. Baut pengatur udara | |
| 6. Plunger starter | |
| 7. Baut pengatur gas | |
| 8. Katup Jarum | |
| 9. Dudukan katup Jarum | |
| 10. Needle jet | |
| 11. Main jet | |
| 12. Pilot jet | |
| 13. Pen pelampung | |

Fungsi bagian-bagian karburator :

a. Katup gas

Mengatur jumlah campuran bensin dengan udara yang akan dimasukkan kedalam ruang bakar. Bentuk lekukan pada bagian bawah katup gas yang mengarah pada lubang pemasukan udara saat posisi menutup akan berfungsi sebagai penutup saluran udara.

b. Needle Jet

Berfungsi untuk mengatur jumlah campuran bensin dengan udara yang mengalir melalui saluran penyiram dari $\frac{1}{4}$ sampai dengan $\frac{3}{4}$ pembukaan katup.

c. Pilot jet

Untuk mengatur jumlah bahan bakar yang digunakan pada waktu putaran rendah.

d. Main Jet

Untuk mengatur jumlah bahan bakar yang digunakan pada waktu putaran tinggi.

e. Ruang pelampung

Sebagai tempat menampung sementara bahan bakar yang akan dialirkan ke ruang bakar.

f. Pelampung

Untuk mempertahankan tinggi permukaan bahan bakar didalam ruang pelampung agar selalu tepat.

g. Sekrup penyetel udara

Untuk mengatur jumlah udara yang akan bercampur dengan bensin.

h. Sekrup penyetel gas

Untuk mengatur posisi pembukaan katup pada kedudukan terendah untuk menentukan putaran stasioner.

i. Choke

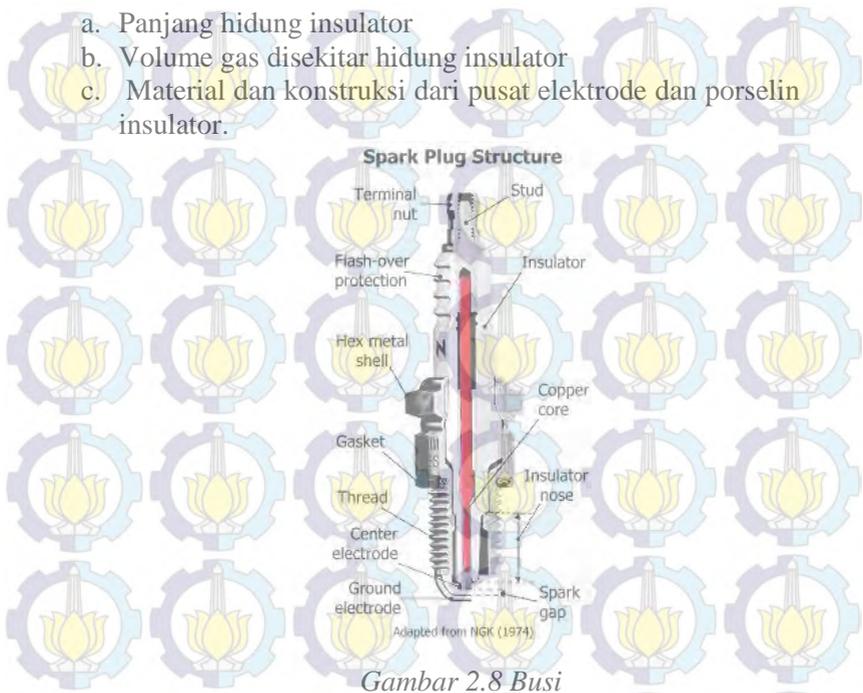
Choke pada dasarnya untuk memberikan supply bahan bakar dengan jalur khusus. Sistem supply bahan bakar dengan karburator biasanya mengandalkan daya hisap mesin untuk menarik bahan bakar. Oleh karena itu, saat karburator tidak bekerja dengan baik, misal pelampung terlalu rendah, maka bahan bakar di karburator perlu diisi dulu dengan mengandalkan daya hisap piston. Hal ini menyebabkan pengisian bahan bakar di ruang bakar menjadi lebih lama. Untuk sedikit memberi kemudahan, maka digunakan choke untuk memberikan bensin berlebih ke silinder sehingga mesin dapat bekerja lebih awal.

5. 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 proses ionisasi dan yang tadinya bersifat insulator, 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 elektrode dan porselin insulator.



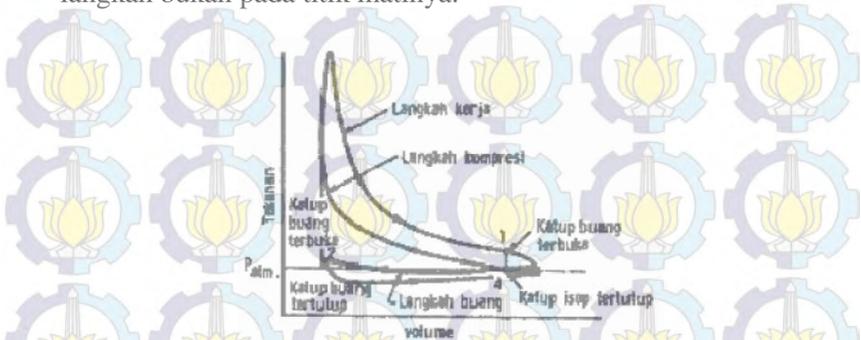
Gambar 2.8 Busi

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 diatas tetapi kita harus mempunyai *heat range* dan gap yang benar.

2.2 Siklus Aktual Motor Bensin 4 Langkah

Dalam siklus ideal masing-masing langkah dimulai dan diakhiri tepat di titik matinya (TMA & TMB), ini berarti tiap satu langkah ekuivalen dengan setengah poros engkol (180° sudut

engkol). Dalam siklus actual permulaan maupun akhir tiap langkah bukan pada titik matinya.

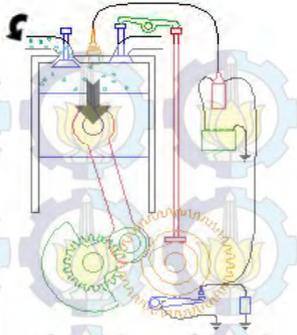


Gambar 2.9. Diagram P-V Siklus Actual

Proses Kerja adalah keseluruhan langkah yang berurutan untuk terjadinya satu siklus kerja dari motor. Proses kerja ini terjadi berurutan dan berulang-ulang. Piston motor bergerak bolak balik dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) dan dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) pada langkah selanjutnya.

2.2.1 Langkah Hisap

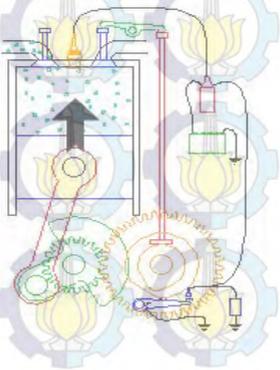
Dalam langkah ini, campuran bahan bakar dan bensin di hisap ke dalam silinder. Katup hisap membuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), menyebabkan ruang silinder menjadi vakum dan menyebabkan masuknya campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder yang disebabkan adanya tekanan udara luar. (Sumber: New Step 1, hal 3 — 4)



Gambar 2.10 Langkah Hisap

2.2.2 Langkah Kompresi

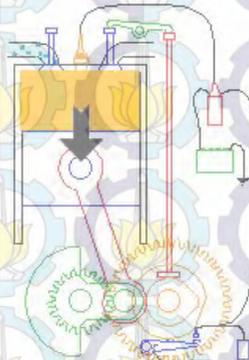
Dalam langkah ini, campuran udara dan bahan bakar dikompresikan. Katup hisap dan katup buang tertutup. Waktu torak naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), campuran yang dihisap tadi dikompresikan. Akibatnya tekanan dan temperaturnya akan naik, sehingga akan mudah terbakar. Saat inilah percikan api dari busi terjadi. Poros engkol berputar satu kali ketika torak mencapai titik mati atas (TMA). (Sumber : New Step 1, hal 3 -4)



Gambar 2.11 Langkah Kompresi

2.2.3 Langkah Ekspansi

Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Saat torak mencapai titik mati atas (TMA) pada saat langkah kompresi, busi memberikan loncatan bunga api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan adanya pembakaran, kekuatan dari tekanan gas pembakaran yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin.

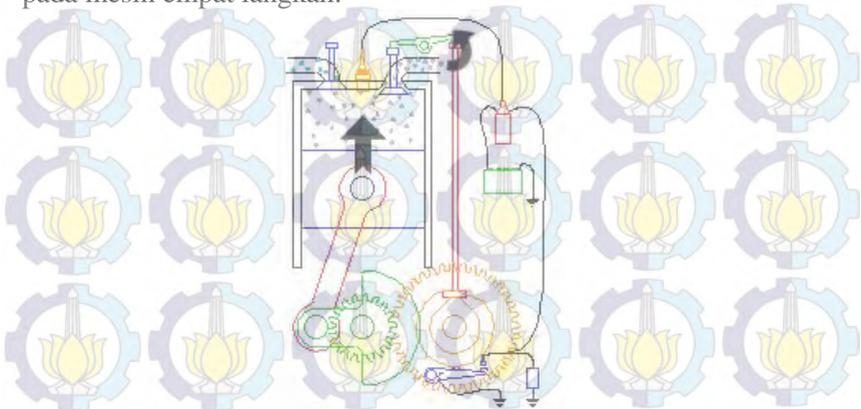


Gambar 2.12 Langkah Ekspansi

2.2.4 Langkah Buang

Dalam langkah ini, gas yang sudah terbakar, akan dibuang ke luar silinder. Katup buang membuka sedangkan katup hisap tertutup. Waktu torak bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), mendorong gas bekas keluar dari silinder. Pada saat akhir langkah buang dan awal langkah hisap kedua katup akan membuka sedikit (valve overlap) yang berfungsi sebagai langkah pembilasan (campuran udara dan bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran). Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan langkah berikutnya, yaitu langkah hisap. Poros engkol telah melakukan 2 putaran penuh dalam satu siklus yang terdiri dari empat langkah yaitu, 1 langkah hisap, 1 langkah kompresi, 1

langkah usaha, 1 langkah buang yang merupakan dasar kerja dari pada mesin empat langkah.



Gambar 2.13 Langkah Buang

Pada motor empat langkah, proses kerja motor diselesaikan dalam empat langkah piston. Langkah pertama yaitu piston bergerak dari TMA ke TMB, disebut langkah pengisian. Langkah kedua yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA disebut langkah kompresi. Langkah ketiga piston bergerak dari TMA ke TMB disebut langkah usaha. Pada langkah usaha ini terjadilah proses pembakaran bahan bakar (campuran udara dan bahan bakar) didalam silinder motor / ruang pembakaran yang menghasilkan tenaga yang mendorong piston dari TMA ke TMB. Langkah keempat yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA disebut langkah pembuangan. Gas hasil pembakaran didorong oleh piston keluar silinder motor. Jadi pada motor empat langkah proses kerja motor untuk menghasilkan satu langkah usaha (yang menghasilkan tenaga) diperlukan empat langkah piston. Empat langkah piston berarti sama dengan dua kali putaran poros engkol.

Pada motor dua langkah proses kerja motornya untuk mendapatkan satu kali langkah usaha hanya diperlukan dua kali langkah piston. Motor dua langkah yang paling sederhana, pintu

masuk atau lubang masuk dan lubang buang terletak berhadapan yaitu berada pada sisi bawah pada dinding silinder motor. Proses kerjanya adalah sebagai berikut. Piston berada TMB, kedua lubang (masuk dan buang) sama sama terbuka kemudian campuran udara dan bahan bakar dimasukkan kedalam silinder melalui lubang masuk. Gerakan piston dari TMB ke TMA, maka lubang masukakan tertutup dan tertutup pula lubang buang.maka terjadilah langkah kompresi. Pada akhir langkah kompresi ini terjadilah pembakaran gas bahan bakar. Dengan terjadinya pembakaran gas bahan bakar maka dihasilkan tenaga pembakaran yang mendorong piston ke bawah dari TMA ke TMB. Langkah usaha terakhir terjadilah pembuangan gas bekas begitu terbuka lubang buang. Sesudah itu terbuka pula lubang masuk sehingga terjadi pemasukkan gas baru sekaligus mendorong mendorong gas bekas keluar melalui lubang buang. Dengan demikian pada motor dua langkah proses motor untuk menghasilkan satu kali langkah usaha / pembakaran gas dalam silinder , hanya diperlukan dua langkah piston. Dilihat dari putaran poros engkolnya diperlukan satu kali putaran poros engkol.

2.3 Bahan Bakar

2.3.1 Bahan bakar LPG

LPG atau *Liquefied Petroleum Gas* dengan merk dagang ELPIJI merupakan gas cair yang ditabungkan hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas, yang berasal dari gas alam sebagai hasil penyulingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas kemudian berubah menjadi cair. LPG terdiri dari campuran berbagai unsur hidrokarbon, komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) lebih kurang 99 %. 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.

Secara umum gas ELPIJI bersifat :

1. Berat jenis gas ELPIJI lebih besar dari udara, yaitu :
 - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
 - Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
2. Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
3. Merupakan Solvent yang baik terhadap karet, sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang dipakai.
4. Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.
5. Tidak berbau. Sehingga untuk keselamatan, ELPIJI komersial perlu ditambah zat odor, yaitu Ethyl Mercaptane yang berbau menyengat seperti petai.
6. Tidak mengandung racun.
7. Bila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga adanya aliran gas.
8. Setiap kilogram ELPIJI cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas ELPIJI

2.3.2 Bahan Bakar Bensin

Bahan bakar bensin termasuk golongan minyak bumi yang telah dilakukan pemurnian pada temperatur tertentu. Dilihat dari asalnya minyak bumi termasuk sumber tenaga yang tidak dapat diperbaharui. Karena minyak bumi tersebut berasal dari sisa-sisa tumbuhan atau fosil yang telah mati dan tertimbun berjuta-juta tahun lamanya. Bahan bakar bensin paling banyak digunakan pada SIE Bensin di ketahui memiliki *specific gravity* 0.70 sampai 0.78. komposisi kimia bensin bermacam-macam tergantung pada minyak mentah dan metode yang digunakan untuk pemurnian.

2.4 Proses Pembakaran

Proses pembakaran 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.

Persamaan kimia untuk pembakaran bahan bakar dalam SIE :

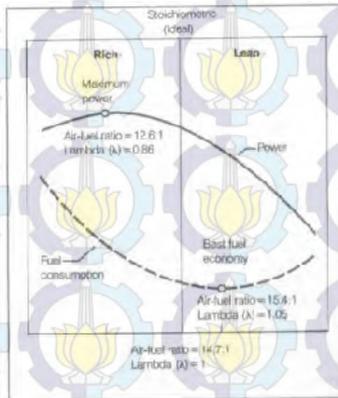


Kombinasi yang diperlukan untuk pembakaran adalah sebagai berikut :

- Adanya campuran udara-bahan bakar yang dapat terbakar. Pada mesin bensin, pencampuran udara-bahan bakar terjadi pada karburator.
- Pembakaran pada mesin bensin terjadi karena adanya pengapian dari loncatan bunga api listrik pada kedua elektroda busi.
- Stabilisasi dan penyebaran api dalam ruang bakar.

2.4.1 Perbandingan Udara-Bahan Bakar

Didalam pembakaran, terjadi dalam batasan perbandingan udara-bahan bakar tertentu, yang disebut "*Ignition Limits*". Campuran yang kelebihan bahan bakar dinamakan campuran kaya dan campuran yang kelebihan oksigen dinamakan campuran miskin. Campuran yang mendekati homogen dari bahan bakar dan udara dipersiapkan oleh karburator. Bila campurannya lebih kaya atau lebih miskin, maka berkuranglah nilai untuk terbakar sendiri.

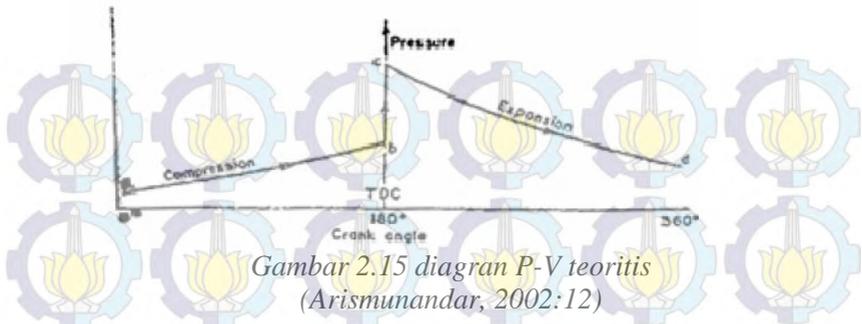


Gambar 2.14 Air Fuel Ratio

2.4.2 Pembakaran Dalam SIE

Ada tiga tahapan yang terjadi dalam proses pembakaran pada SIE (spark ignition engine) mulai dari awal sampai akhir pembakaran, yaitu:

Tahap I: *Ignition Lag* (fase persiapan) yaitu membesar dan berkembangnya inti api serta merambatnya inti api tersebut dalam campuran udara–bahan bakar terkompresi dalam ruang bakar. Proses ini merupakan proses kimia yang tergantung pada tekanan dan temperatur, koefisien temperatur bahan bakar yaitu hubungan temperatur dan laju percepatan oksidasi/pembakaran.



Gambar 2.15 diagram P-V teoritis
(Arismunandar, 2002:12)

Tahap II : *Propagation of Flame* yaitu dimana api mulai merambat dan menyebar ke seluruh ruang bakar. Proses mekanis banyak mempengaruhi proses ini. Proses ini dianggap berjalan baik apabila api dengan cepat merambat sehingga tidak ada campuran bahan bakar yang tidak terbakar. Dengan begitu akan terjadi pembakaran yang sempurna. (B – C)

Tahap III : *After Burning*, setelah terjadi reasosiasi pada proses pembakaran maka berikutnya akan terjadi diasosiasi ada gas-gas hasil pembakaran. Setelah titik C

2.5 Modifikasi Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas

Penggunaan bahan bakar gas berupa biogas di awalidandominasi oleh masyarakat desa yang bermukim di daerah peternakan-peternakan sapi. Kemudian berkembang melalui pemanfaatan sampah rumah tangga. Penggunaan biogas sebagai bahan bakar alternatif dalam dunia otomotif maupun pembangkitan energi listrik sangat terbatas di Indonesia. Dalam penelitian ini, kami menggunakan mesin 4 langkahstasionersatusilinderbahan bakar bensin untuk dimodifikasi agar dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar gas biogas.

Pada motor bensin empat langkah satu silinder,sistem penyalan yang digunakan langsung menggunakan biogas di

awali dengan bahan bakar bensin terlebih dahulu melalui karburator untuk memudahkan penyalaan mesin.

2.5.1 Mixer

Mixer merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar gas yang kemudian akan dimasukkan ke ruang bakar karena adanya kevakuman di ruang bakar. Pencampuran bahan bakar gas dan udara ini dalam perbandingan yang sesuai yang diisyaratkan oleh engine, sehingga pencampuran dengan ventury mixer dalam sistem bahan bakar gas mempunyai fungsi yang sama dengan karburator dalam sistem bahan bakar bensin.

Venturi *mixer* memanfaatkan efek venturi, yaitu fenomena terjadinya kevakuman pada venturi. Fenomena ini terjadi ketika udara mengalir melalui pembatas (constriction), dan pada saat itu (vakum) gas akan mengalir ke dalam saluran udara. Sehingga saat masuk ruang bakar sudah dalam kondisi campuran bahan bakar gas dan udara.

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa rasio aliran (flow rate) pada sisi kiri suatu saluran fluida harus sama dengan rasio aliran pada sisi kanan saluran tersebut.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Persamaan Bernoulli menunjukkan bahwa perubahan kecepatan aliran berpengaruh pada besar kecilnya tekanan pada aliran tersebut. dimana:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$
$$P_2 = \left[\frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \right] + [\rho g (Z_1 - Z_2)] + P_1$$

Dimana:

- V = kecepatan fluida sepanjang aliran
- g = percepatan gravitasi
- P = tekanan sepanjang aliran

... = massa jenis fluida

Z = elevasi

2.5.2 Pressure Regulator Manual

Pressure Regulator Manual berfungsi sebagai pegatur tekanan gas yang keluar dari tangki secara manual. Dalam aplikasinya pada motor bensin 4 langkah Pressure Regulator Manual ini bisa diatur sesuai dengan kebutuhan bahan bakar gas pada mesin.

2.6 Pengukuran Tekanan dan Laju Bahan Bakar Gas

2.6.1 Pengukuran Tekanan Bahan Bakar Gas

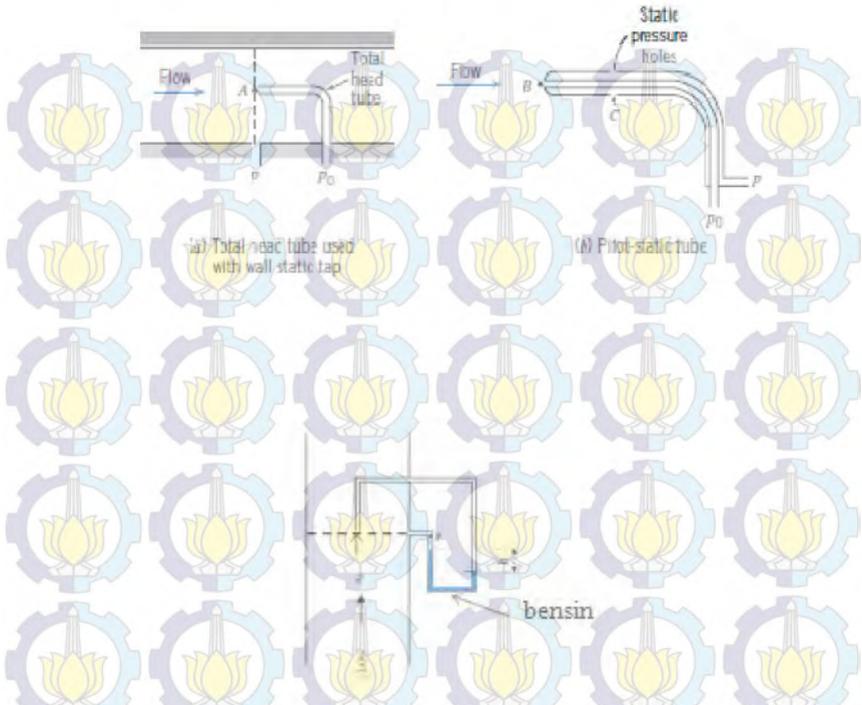
Tekanan bahan bakar gas dapat diukur dengan menggunakan pressure regulator.



Gambar 2.16 Alat ukur pressure regulator

2.6.2 Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas

Laju bahan bakar gas dapat diukur dengan menggunakan tabung pitot manometer pipa U. Dengan mengukur perbedaan ketinggian permukaan fluida (bensin) di manometer pipa U akan di peroleh laju aliran. Skema tabung pitot seperti pada gambar di bawah ini sebagai berikut :



Gambar 2.18. Tabung pitot manometer pipa U

Berdasarkan gambar diatas maka laju aliran masa aktual dari bahan bakar gas LPG adalah :

Berdasarkan persamaan Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{constan}$$

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

$$V_0 = 0 \text{ (tekanan stagnasi)}$$

$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho V^2, \text{ sehingga:}$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = P_0 - P \quad (\text{tekanan dinamis})$$

Atau,

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$

... air at 25°C

$$P_0 - P = \rho \cdot h \cdot g \cdot \sin \theta$$

Maka,

$$V = \sqrt{\frac{2 \rho_{H_2O} \cdot g \cdot h \cdot \sin \theta}{\rho}}$$

... air at 25°C

Fungsi n dengan Reynold Number :

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_u$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{Q}{A}, \text{ atau } Q = \int_A \bar{V} dA$$

\bar{V} rata-rata terhadap centerline velocity dapat dicari dengan persamaan :

$$\frac{\bar{V}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$Q = \bar{V} \times A$$

Sehingga :

$$\dot{m}_a = \rho \cdot Q$$

Keterangan :

m_{aktual} = laju aliran masa aktual BBG, (kg/s)

ρ_{LPG} = Massa jenis LPG, (kg/m³)

ρ_{Bensin} = Massa jenis bensin, (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi, (m/s²)

V = kecepatan aliran, (m/s)

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ = massa jenis air, (kg/m³)

ρ_{ud} = massa jenis udara, (kg/m³)

h = beda ketinggian fluida pada tabung pitot, (m)

P = tekanan statis, (Pa)

P_0 = tekanan stagnasi, (Pa)

2.7 Unjuk Kerja

2.7.1 Daya

Pada motor bakar yang dimaksud daya berguna adalah daya poros, karena poros tersebut yang menggerakkan beban. Daya tersebut berasal dari daya indikatif yaitu daya yang dihasilkan oleh ekspansi fluida kerja pada silinder. Sebagian dari daya ini digunakan untuk mengatasi kerugian daya akibat gesekan-gesekan, misalnya : gesekan antara torak (cincintorak) dengan dinding silinder, gesekan antara poros dengan bantalannya, dan juga gesekan antara fluida dengan salurannya. Disamping itu untuk mendukung bekerjanya, mesin memerlukan beberapa aksesoris misalnya : pompa minyak pelumas, pompa air pendingin, pompa bahan bakar, generator, blower, pengisian akumulator, lampu-lampudan lain-lain. Jadi daya poros adalah :

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

dimana :

N_e : daya poros atau daya efektif (Hp)

- N_i : daya indikatif (Hp)
 N_{ng} : daya untuk mengatasi gesekan-gesekan (Hp)
 N_a : daya untuk aksesoris mesin (Hp)

Daya poros dapat diukur secara tidak langsung dengan dinamometer. Dinamometer sebenarnya mengukur momen torsi motor. Oleh karena itu memerlukan variabel lain yaitu putaran poros motor yang dapat diukur dengan tachometer. Hubungan antara momen torsi dengan daya motor adalah sebagai berikut :

$$N_e = \frac{f \cdot n}{30} \times T \times \frac{1}{12 \times 550} \text{ Hp}$$

Ket :

- T : momen torsi (in-lb)
 n : putaran poros mesin

atau menggunakan persamaan :

$$BHP = \frac{N}{\eta_g \eta_{kopleng}}$$

Keterangan:

BHP (N_e) = daya generator (effektif) mesin (Watt)

$N(P)$ = daya mesin ($V \cdot I \cdot \cos \phi$) (watt)

η_g = efisiensi generator

$\eta_{kopleng}$ = efisiensi kopleng

Dari persamaan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa ($N_a + N_g$) harus dibuat sekecil mungkin agar N_e yang diperoleh dapat sebesar mungkin.

2.7.2 Torsi (T)

Poros yang bergerak dengan kecepatan tertentu, akan menghasilkan momen torsi atau momen puntir, waktu berputarnya dan torsi sendiri adalah kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja:

$$T = \frac{BHP}{\dot{\phi}}$$

Keterangan:

$$= \frac{2 \cdot f \cdot n}{60} \left(\frac{rad}{sec} \right)$$

T = Torsi (N.m)

BHP = Daya generator (daya efektif) (Hp)

n = Kecepatan putaran mesin (rpm)

2.7.3 Tekanan Efektif Rata – Rata (bmep)

Tekanan efektif rata-rata pengamat dari motor, (*Break Mean Effective Pressure*) didefinisikan sebagai tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif pengamatan.

$$BHP = bmep \cdot V_{sil} \cdot a \cdot n \cdot z$$

$$BHP$$

$$bmep = \frac{V_{sil} \cdot a \cdot n \cdot z}{2.3}$$

Dimana :

Bmep = Tekanan efektif rata-rata (KPa)

BHP = Brake Horse Power (Daya) (HP)

n = Putaran mesin (rpm)

a = 1 siklus (motor 2-langkah)

0,5 siklus (motor 4-langkah)

V_{sil} = Volume silinder (m^3)

Z = 1 silinder

2.7.4 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (bsfc)

Bsfc (*Brake Specific Fuel Consumption*) adalah banyak bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin untuk menghasilkan 1 HP selama 1 jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar, m (Kg) dalam waktu selama t (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam (B) adalah :

$$B = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$Bsfc = \frac{(\text{Pemakaian bahan bakar / jam})}{bhp}$$

$$Bsfc = \frac{m}{BHP}$$

Dimana :

Bsfc = Pemakaian bahan bakar spesifik $\left(\frac{\text{kg}}{\text{Wh}} \right)$

BHP = *Brake Horse Power* $\left(\frac{\text{Joule}}{s} \right)$

m_{bb} = massa bahan bakar per waktu $\left(\frac{m}{s} \right)$

2.7.5 Efisiensi Termis (η_{th})

Efisiensi termis adalah prosentase yang menyatakan besarnya pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk dirubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Energi panas bahan bakar per satuan waktu}} \times 100 \%$$

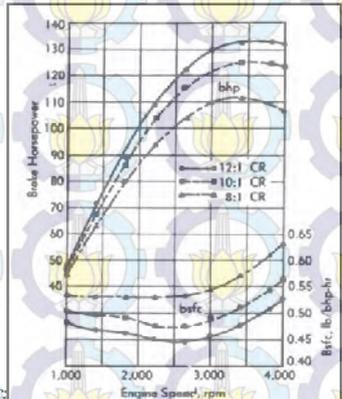
$$\eta_{th} = \frac{BHP}{m \cdot Q} \times 100 \%$$

Dimana :
 η_{th} = Efisiensi Thermis(%)

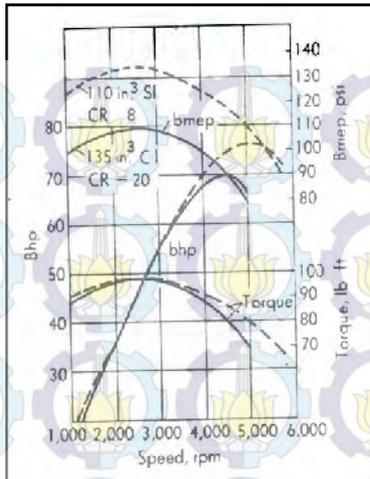
m = Pemakaian bahan per waktu ($\frac{kg}{s}$)
 Q = Kalor pembakaran bawah (*Lower Heating Value*) ($\frac{KJoule}{Kg}$)

2.7.6 Grafik Unjuk Kerja

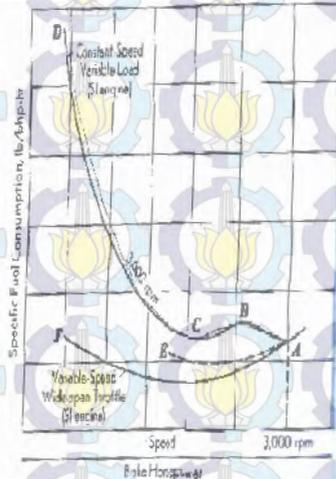
Dari persamaan unjuk kerja diatas maka akan dilihat suatu karakteristik mesin dalam bentuk grafik unjuk kerja mesin.



Gambar 2.19 Grafik unjuk kerja mesin dengan katup terbuka penuh pada tiga compressi ratio. (Obert)



Gambar 2.20 Grafik Hasil pengujian BHP, Torque dan Bmep versus speed pada 2 compresi rasio. (Obert)



Gambar 2.21 Spesific consumption pada pengujian constan speed dan variable speed. (Obert)

2.8 Koreksi ρ_1 dengan faktor suhu ruangan dan tekanan

Persamaan Gas ideal yang dipakai dalam penelitian ini adalah

$$P_1 = P_2$$

$$\rho_1 R_1 T_1 = \rho_2 R_2 T_2$$

Karena R konstan maka untuk mencari nilai ρ_1 sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1 T_1}{\rho_2 T_2}$$

$$\rho_1 = \frac{\rho_2 T_2 P_1}{P_2 T_1}$$

Dimana :

P_1 : Tekanan Atmosfer (kPa)

P_2 : Tekanan dari gas LPG (kPa)

T_1 : Temperatur atmosfer (K)

T_2 : Temperatur Gas LPG (K)

ρ_1 : Massa Jenis udara pada temperatur atmosfer ($\frac{kg}{m^3}$)

ρ_2 : Massa Jenis Gas LPG ($\frac{kg}{m^3}$)

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Penelitian

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara unjuk kerja dari mesin sepeda motor empat langkah dengan menggunakan bahan bakar bensin dengan gas LPG. Metode yang dilakukan dengan cara membandingkan parameter unjuk kerja penggunaan bahan bakar bensin dengan bahan bakar gas LPG terhadap variasi putaran tertentu dan pembebanan dynotest.

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember kampus Sukolilo Surabaya dan PPPPTK Bidang Otomotif dan Elektronika VEDC-Malang.

3.2 Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Motor Bensin Empat Langkah Satu Silinder dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - a. Tipe Mesin : 4 langkah ,SOHC Pendinginan Udara
 - b. Diameter x langkah : 52,4 x 57,9mm
Volume langkah : 124,8 cc
 - c. Perbandingan kompresi : 9,0 :1
 - d. Daya maksimum : 9,3 PS/7.500rpm
 - e. Torsi maksimum :1,03 kgf.m /4000rpm
 - f. Kapasitas tangki bahan bakar: 3,7 Liter
 - g. Kapasitas minyak pelumas : 0,7 Liter
 - h. Kopling otomatis : Otomatis sentrifugal
 - i. Gigi transmisi : Kecepatan bertautan tetap

- j. Pola pengoperan gigi : N-1-2-3-4-N (rotari)
- k. Starter : Pedal dan elektrik
- l. Aki : 12 V-3,5 Ah
- m. Busi : ND U20EPR9
- n. Sistem Pengapian : Carburator- DC CDI



Gambar 3.1 Motor Bensin Empat Langkah Satu Silinder

2. Dinamometer atau dynotest

Dynotest digunakan untuk mengukur putaran mesin/RPM dan torsi dimana tenaga atau daya yang dihasilkan dari suatu mesin atau alat yang berputar dapat dihitung.



Gambar 3.2 pengujian dynotest

3. Tachometer

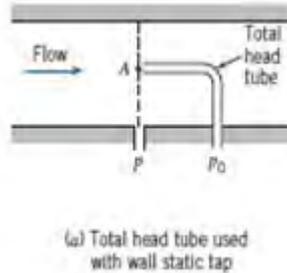
Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putaran dari mesin yaitu kecepatan dari poros engkol mesin. Alat ini sudah di setting menjadi satu bagian dengan dynotest.



Gambar 3.2 Tachometer

4. Tabung Pitot

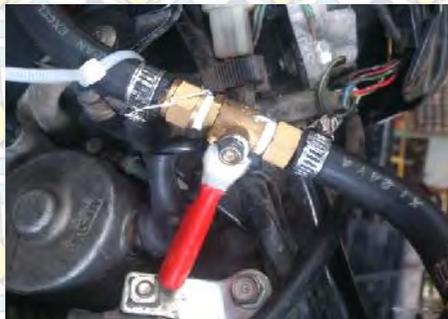
Tabung pitot manometer pipa U merupakan alat ukur aliran yang paling murah, paling mudah pemasangannya, tetapi juga paling kecil ketelitiannya diantara alat ukur aliran jenis flow meter.



Gambar 3.3 Tabung pitot

5. Valve manual

Preseure regulator manual digunakan untuk mengatur tekanan gas biogas secara manual dan disesuaikan dengan kebutuhan bahan bakar gas yang dibutuhkan motor.



Gambar 3.4 Manual Valve

6. Mixer venturi

Mixer adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar gas yang kemudian akan dimasukkan ke ruang bakar karena adanya kevakuman di ruang bakar.



Gambar 3.5 Mixer Venturi Masukan

7. Anemometer

Anemometer adalah suatu alat ukur yang berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran udara yang masuk kedalam mixer venturi.



Gambar 3.6 Anemometer

8. Pressure Regulator Manual

Pressure Regulator Manual berfungsi sebagai pegatur tekanan gas yang keluar dari tangki secara manual sesuai dengan kebutuhan bahan bakar gas pada mesin genset.



Gambar 3.7 Pressure Regulator Manual

Tabel 3.1 Spesifikasi dan Jenis Modifikasi mixer

Jenis mixer	Diameter lubang pemasukan udara	Diameter lubang pemasukan Gas
Modifikasi mixer (Mixer ventury)	Diameter udara masuk = 32 mm, diameter ventury = 10 mm.	diameter masukan gas ke mixer = 1,2 mm (eksentris 1,0 mm dari titik pusat).

3.3 Bahan Bakar Uji

Bahan bakar yang digunakan dalam percobaan adalah bensin dan gas LPG 3 kg Pertamina. Di bawah ini adalah ciri-ciri bahan bakar yang digunakan dalam pengujian :

Tabel 3.2. Nilai massa jenis bahan bakar uji

Bahan Bakar Yang Diuji	... ($\frac{kg}{m^3}$)
Gas LPG	11,14

Ciri-ciri bahan bakar diatas diteliti di Laboratorium D3 Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

3.4 Instalasi Percobaan

Skema instalasi percobaan secara sederhana menggunakan bahan bakar Gas LPG dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



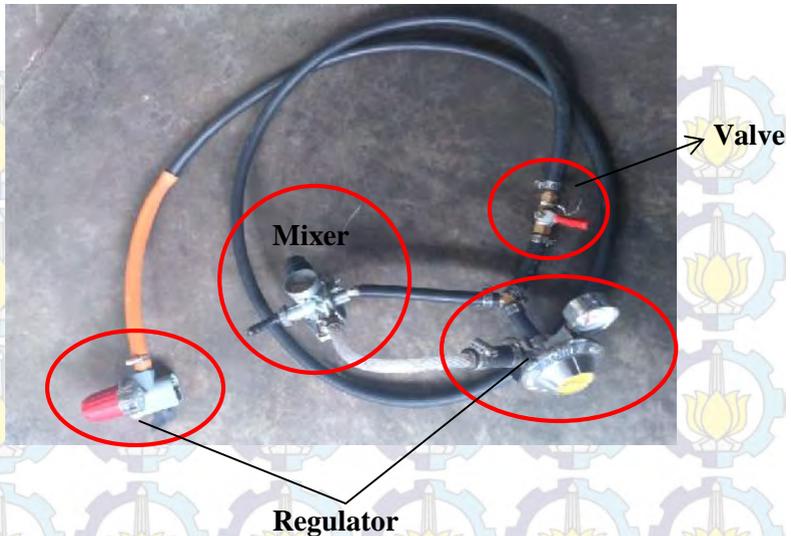
**Komputer Scan
Dan Hofmann
dynotest**

Tabung LPG

Gambar 3.8 Instalasi percobaan



Gambar 3.9 Pemasangan Mixer Pada Sepeda Motor



Gambar 3.10 Pemasangan Konverter Kit

3.5 ProsedurPengujian

Tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan pengujian
 - a. Mengkondisikan mesin dalam kondisi standar yaitu dengan melakukan tune up mesin, penggantian oli mesin dan busi.
 - b. Pengecekan kondisi saluran bahan bakar dan kondisi filter udara.
 - c. Mempersiapkan dynotest dan mengeset agar tidak terjadi trouble atau kesalahann dalam pengambilan data.
 - d. Mempersiapkan bahan uji dari gas LPG ,mixer venturi, serta mempersiapkan alat ukur pengujian yang digunakan seperti tachometer, tabung pitot manometer pipa U,anemometer.
 - e. Menghubungkan kabel dynotest (rpm) dengan mesin sepeda motor.

- f. Cek kabel-kabel agar terhubung dengan baik.
- g. Pada penggunaan bahan bakar LPG, pasang mixer venturi pada Intake manifold kemudian pasang anemometer tepat di depan mixer venturi.
- h. Pasang pressure regulator valve manual pada tabung LPG, kemudian pasang alat ukur tabung pitot manometer pipa U diantara pressure regulator manual dan masukan gas pada mixer.
- i. Pengecekan pada sambungan selang LPG, untuk mengecek apakah ada kebocoran atau tidak.
- j. Pengecekan alat ukur apakah telah terhubung dengan baik dan bekerja dengan baik.
- k. Setelah semua dipastikan telah terpasang dengan benar, maka percobaan sudah dapat dilakukan.

2. Pengujian dengan menggunakan bahan bakar LPG.

- a. Pastikan kondisi pressure regulator valve dalam kondisi optimal dan terpasang pada tabung LPG.
- b. Buka katup pressure regulator, dan buka valve selang.
- c. Menyeting agar mesin dapat idle dengan benar dan *steady state* ± 5 menit.
- d. Dalam pengujian ini roda belakang ditaruh diatas roller mesin dynotest dan sepeda motor diikat dengan webbing sehingga sepeda motor tetap aman sekalipun sedang melaju sangat kencang diatas mesin dyno.
- e. Pengujian dilakukan dengan variabel speed dan part open throttle. Setelah itu gigi dimasukkan bertahap sampai gigi 4. Lalu atur putaran mesin hingga mendapatkan putaran 2800 rpm, 3000 rpm, 3200 rpm, 3400 rpm, dan 3600 rpm.
- f. Melihat besar kecepatan udara yang masuk ke mixer venturi dengan membaca alat ukur anemometer.
- g. Melihat besar tekanan gas yang dibutuhkan mesin dengan cara membaca penunjuk jarum tekanan di pressure gage pada regulator tabung LPG.

- h. Melihat perbedaan ketinggian fluida pada tabung pitot manometer pipa U (H), untuk dimasukkan dalam rumus perhitungan agar mendapatkan kecepatan aliran dari LPG.
- i. Melihat performa mesin seperti daya roda/WHP, torsi, putaran mesin dengan cara melihat pada komputer dan mencetak di lembaran print out dynotest.
- j. Langkah pengujian selanjutnya dapat dilakukan dengan cara mengulang langkah d sampai h untuk di setiap 2800 rpm, 3000 rpm, 3200 rpm, 3400 rpm dan 3600 rpm.
- k. Setelah semua data yang dibutuhkan pada pengujian mixer venturi berbahan gas LPG di dapat, maka langkah yang dilakukan adalah mematikan engine sepeda motor, menutup valve selang, serta menutup presure regulator.
- l. Lakukan langkah yang sama saat melakukan pengujian selanjutnya.

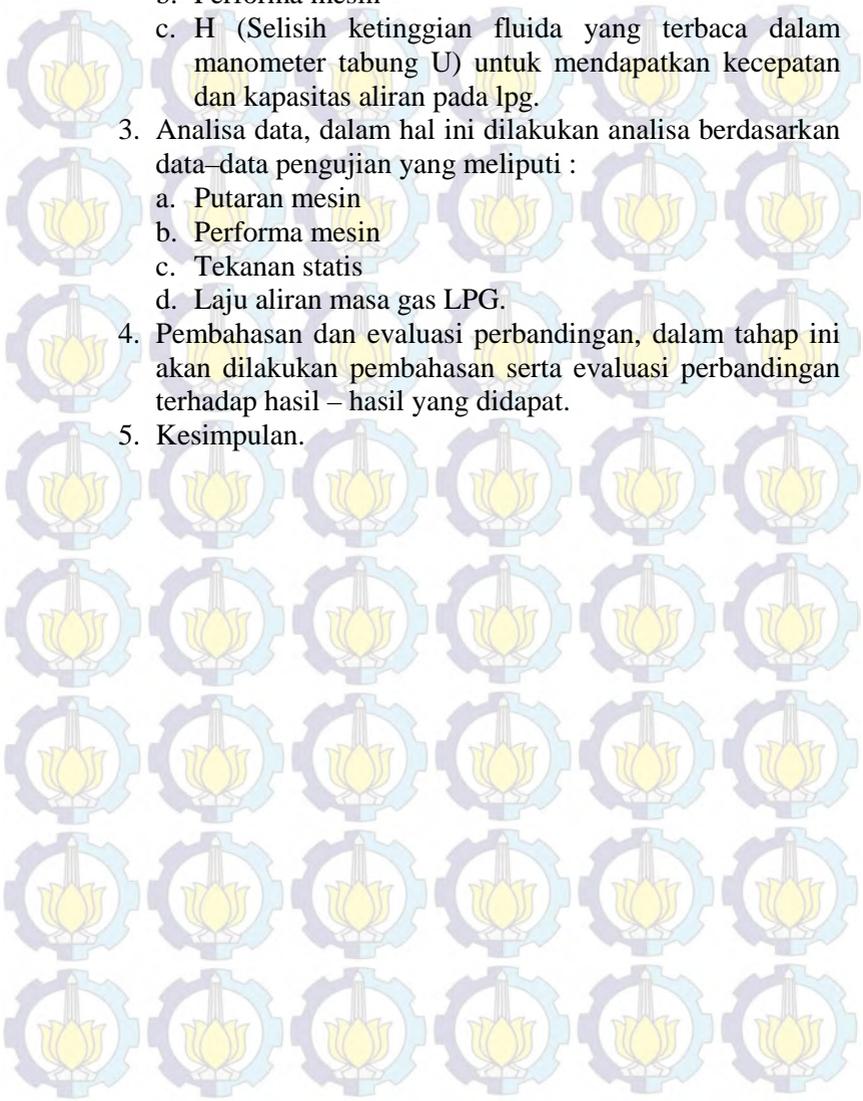
3. Akhir pengujian

Dengan diperolehnya semua data yang diperlukan, data-data tersebut dapat dianalisa dengan perumusan pada buku referensi. Masing-masing laju massa aliran, kecepatan aliran AFR_{lpg} dapat dicari. Untuk mempermudah penganalisaan, hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik pada setiap variasi putaran mesin.

3.6 Sistem Penelitian

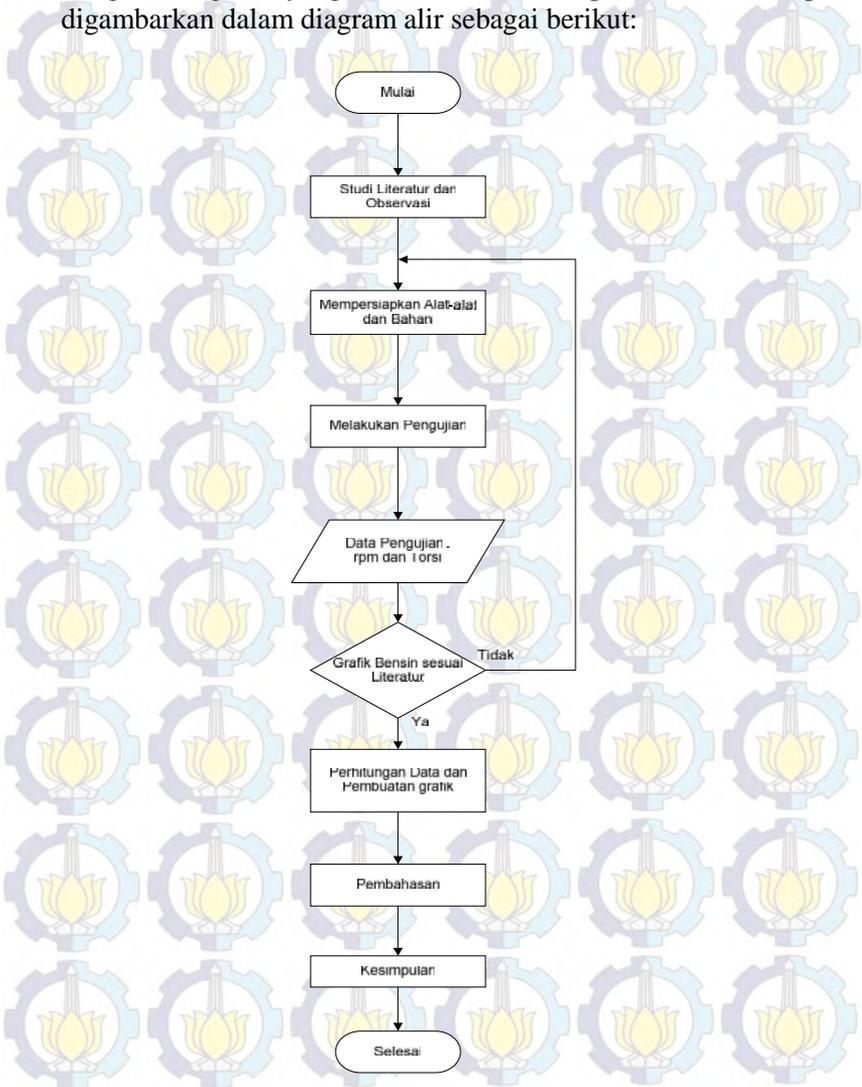
Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan variasi sebagai berikut :

1. Studi literatur, bertujuan untuk mendapatkan berbagai macam informasi dan data yang berkaitan dengan obyek penelitian, misalnya tekanan dan laju aliran massa LPG yang dibutuhkan mesin jika menggunakan mixer venturi terhadap putaran mesin.
2. Melakukan pengujian di laboratorium pengujian untuk mendapatkan data – data sebagai berikut :

- 
- a. Putaran mesin
 - b. Performa mesin
 - c. H (Selisih ketinggian fluida yang terbaca dalam manometer tabung U) untuk mendapatkan kecepatan dan kapasita aliran pada lpg.
3. Analisa data, dalam hal ini dilakukan analisa berdasarkan data–data pengujian yang meliputi :
 - a. Putaran mesin
 - b. Performa mesin
 - c. Tekanan statis
 - d. Laju aliran masa gas LPG.
 4. Pembahasan dan evaluasi perbandingan, dalam tahap ini akan dilakukan pembahasan serta evaluasi perbandingan terhadap hasil – hasil yang didapat.
 5. Kesimpulan.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.11 Diagram Alir Pengujian



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan serangkaian pengujian unjuk kerja sepeda motor berbahan bakar bensin dan bahan bakar LPG dengan dynotest dengan variasi putaran 2800, 3000, 3200, 3400 dan 3600 rpm didapatkan data sebagai berikut :

- a. Data Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin:

Tabel 4.1 Data Hasil Dynotest Untuk Bahan Bakar Bensin

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)	P_{st} (bar)	\dot{m} (kg/s)
2800	11	1	0,003
3000	11	1	0,00297
3200	11	1	0,00273
3400	12	1	0,00266
3600	14	1	0,0023

- b. Data Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas :

Tabel 4.2 Data Hasil Dynotest Untuk Bahan Bakar Gas

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)	h (mm)
2800	12	5,2
3000	14	6,1
3200	11	7
3400	13	8,4
3600	13	10,3

Dari tabel tersebut dapat diketahui BHP, BMEP, BSFC dan Efisiensi. Selain itu juga dapat mengetahui tekanan dan laju aliran

massa pada bahan bakar gas LPG melalui hasil pengukuran perbedaan ketinggian (H) manometer tabung U.

4.2 Perhitungan Performa Mesin Sepeda Motor Berbahan bakar Bensin

Untuk memberikan gambaran perhitungan untuk mengetahui daya, bmep, bsfc, dan efisiensi thermis maka diambil sebagian data dari pengujian untuk kondisi performa mesin menggunakan bahan bakarbensin pada putaran 3000 rpm.

4.2.1 Perhitungan Daya Motor atau Brake Horse Power (BHP)

Contoh : Perhitungan pada bahan bakar bensin pada putaran 3000 rpm pada sepeda motor.

Diketahui :

- Putaran Motor (n) : 3000 rpm
- Torsi : 11 Nm

Jawab :

$$\text{Torsi} = \frac{BHP}{\dot{S}}$$

Untuk mencari nilai BHP maka :

$$\begin{aligned} BHP &= \text{Torsi} \times \dot{S} \text{ (Watt)} \\ &= \text{Torsi} \times \frac{2 \times f \times n}{60} \\ &= 11 \text{Nm} \times \frac{2 \times f \times 3000 \text{rpm}}{60 \text{s}} \\ &= 3454 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BHP pada masing-masing putaran.

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan Daya Motor (BHP)

Putaran (rpm)	BHP (Watt)
2800	3223.73
3000	3454
3200	3684.27
3400	4270.4
3600	5275.2

4.2.2 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)

Untuk mengetahui tekanan efektif rata-rata digunakan persamaan berikut :

$$BHP = BMEP \times V_{sil} \times a \times z \times n$$

$$BMEP = \frac{BHP}{V_{sil} \times n \times a \times z} \text{ (KPa)}$$

Dimana :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

n = putaran mesin (rpm)

= 3000 (rpm)

a = $\frac{1}{2}$ siklus (motor 4-langkah)

V_{sil} = Volume silinder (m^3)

= $1,25 \times 10^{-4} m^3$

z = 1 silinder

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$BMEP = 3454 \frac{Nm}{s} \times \frac{1 \text{ min}}{1,25 \times 10^{-4} m^3 \times 3000 \times 0.5 \times 1} \times \frac{60s}{\text{min}}$$

$$BMEP = 1105280 \text{ Pa}$$

$$BMEP = 1105,28 \text{ Kpa}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BMEP pada masing-masing putaran.

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata

Putaran (rpm)	BMEP (KPa)
2800	1105.28
3000	1105.28
3200	1105.28
3400	1205.76
3600	1406.72

4.2.3 Pemakaian bahan bakar spesifik (BSFC)

Untuk menghitung pemakaian bahan bakar spesifik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{BHP}$$

Dimana :

\dot{m} = konsumsi bahan bakar per waktu ($\frac{kg}{sec}$)

BHP = Daya motor (Watt)

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{BSFC} = 0,00297 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{1}{3454 \text{ Watt}} \times \frac{3600\text{s}}{\text{h}}$$

$$\text{BSFC} = 3,1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{Wh}}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BSFC pada masing-masing putaran.

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan bakar (BSFC)

Putaran (rpm)	BFSC (kg/Wh)
2800	$3,4 \times 10^{-3}$
3000	$3,1 \times 10^{-3}$
3200	$2,7 \times 10^{-3}$
3400	$2,2 \times 10^{-3}$
3600	$1,6 \times 10^{-3}$

4.2.4 Perhitungan Efisiensi Thermis (η_{th})

Untuk menghitung efisiensi thermis digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi}_{out}}{\text{Energi}_{in}}$$

$$\eta_{th} = \frac{\text{BHP}}{m \times Q} \times 100\%$$

Dimana :

BHP = Daya motor (Watt)

Q = Lower Heat Value $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

Untuk bahan bakar Bensin :

$$Q = 10746 \frac{kcal}{kg}$$

$$Q = 44991,35 \frac{KJ}{kgK}$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$y_{th} = \frac{3454 \frac{Nm}{sec}}{0,00297 \frac{kg}{sec} \times 44991,35 \frac{1000 Nm}{kg}} \times 100\%$$

$$y_{th} = 2,58 \%$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai Efisiensi thermis pada masing-masing putaran.

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan Efisiensi Thermis

Putaran (rpm)	η_{th} (%)
2800	2.39
3000	2.58
3200	2.99
3400	3.57
3600	5.10

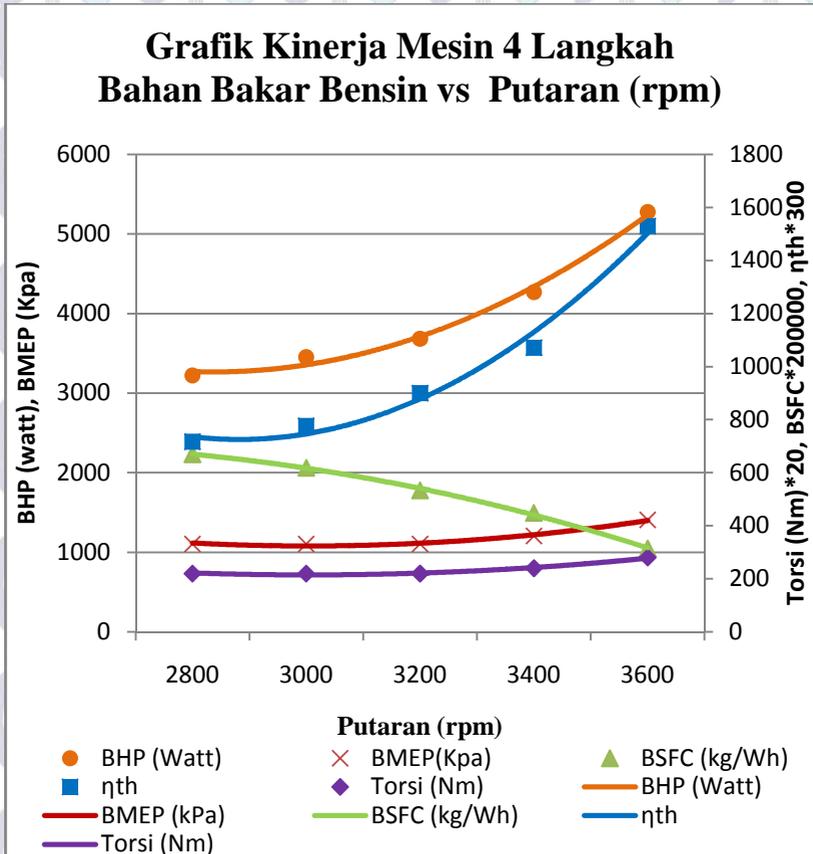
4.2.5 Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin

Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin

Putaran (rpm)	Torsi (kgm)	BHP (Watt)	BMEP (KPa)	BSFC (kg/Wh)	η_{th} (%)
2800	11	3223.73	1105.28	$3,4 \times 10^{-3}$	2.39
3000	11	3454	1105.28	$3,1 \times 10^{-3}$	2.58
3200	11	3684.27	1105.28	$2,7 \times 10^{-3}$	2.99
3400	12	4270.4	1205.76	$2,2 \times 10^{-3}$	3.57
3600	14	5275.2	1406.72	$1,6 \times 10^{-3}$	5.10

4.2.6 Grafik Unjuk Kerja pada Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Bensin

Dari tabel 4.7 maka didapatkan performa motor supra x 125 menggunakan bahan bakar bensin disajikan dalam bentuk grafik yaitu :



Grafik 4.1 kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar bensin

4.3 Analisa Hasil Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG

Pengujian unjuk kerja sepeda motor menggunakan bahan bakar gas LPG yang sudah dilakukan, memberikan suatu hasil performa mesin.

Data Pengukuran pada manometer tabung U ($H_{\text{tabung U}}$) Bahan Bakar Gas Untuk mengetahui besar tekanan statis bahan bakar gas yang dibutuhkan mesin dapat diketahui dengan mengukur perbedaan ketinggian permukaan bensin (H) pada manometer tabung U terhadap pada variasi putaran 2800 rpm, 3000 rpm dan 3200 rpm, 3400 rpm dan 3600 rpm. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.8 Data Pengukuran Perbedaan Ketinggian Tabung Pitot pada Orifice Bahan Bakar Gas LPG.

Putaran (rpm)	Tabung Pitot h (mm)
2800	0.0052
3000	0.0061
3200	0.007
3400	0.0084
3600	0.0103

4.3.1 Perhitungan Tekanan Statis Gas LPG (P_{st})

Perhitungan tekanan statis diketahui dengan mengukur tekanan menggunakan pressure gage pada regulator tabung LPG.

Tabel 4.9 Data hasil pengukuran Tekanan Statis (P_{st}) pada setiap variasi putran (RPM)

Putaran (rpm)	Tekanan Statis P _{st} (bar)
2800	3,9
3000	3,6
3200	3,4
3400	2,8
3600	2,5

Nb: pengambilan data menggunakan pressure gauge regulator

4.3.2 Perhitungan laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG

(*m*)

Contoh : Perhitungan percobaan pada kondisi putaran 3200 rpm dengan menggunakan bahan bakar gas LPG dengan mixer venturi.

Diketahui :

- Putaran motor : 3000 rpm
- Perbedaan ketinggian permukaan fluida : 2,7 mm
- Diameter pipa saluran gas LPG (D) : 8 mm

Penyelesaian :

Dengan persamaan bernauli, maka dapat dicari kecepatan dan tekanan selama di streamline :

$$\frac{P}{\dots} + \frac{V^2}{2} = \text{kons tan}$$

$$\frac{P_0}{\dots} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P}{\dots} + \frac{V^2}{2}$$

$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho V^2$$

Atau,

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$

Dimana :

$$P_0 - P = \rho \sin \theta \cdot g \cdot h$$

$$= \rho_{H_2O} \cdot SG_{\sin \theta} \cdot g \cdot h$$

$$\rho_{H_2O} (\text{pada } 25^\circ \text{C}) = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_1 = 2,489 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sumber: http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html

Koreksi ρ_1 dengan faktor suhu ruangan dan tekanan

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1 T_1}{\rho_2 T_2}$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 T_1 P_2}{P_1 T_2}$$

$$\dots_2 = \frac{2,489 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 298^0 \text{ K} \times 461,325 \text{ kPa}}{101,325 \text{ kPa} \times 293^0 \text{ K}}$$

$$\dots_2 = 10,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Jadi \dots_{LPG} yang digunakan = $10,95 \text{ kg/m}^3$

Maka,

$$V = \sqrt{\frac{2 \dots_{H_2O} \cdot g \cdot h \cdot SG_{\text{ben sin}}}{\dots_{\text{lpg}}}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,1 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 1,10769}{10,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$= 3,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dengan Variasi Power-Law Exponent (n) dengan *Reynold Number* (Re):

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_u$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{Q}{A}, \text{ atau } Q = \int_A \bar{V} dA$$

$\bar{V}_{\text{rata-rata}}$ terhadap centerline velocity dapat dicari dengan persamaan :

$$\frac{\bar{v}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

Dimana :

$$\sim_{C_4H_{10}} = 7 \times 10^{-6} \frac{Ns}{m^2}$$

$$\sim_{C_4H_{10}} = 2,489 \frac{kg}{m^3}$$

Fungsi Exponent n dengan *Reynold Number*:

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_u$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log \frac{\sim_{C_4H_{10}} \epsilon d}{\sim_{C_4H_{10}}}$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log \left(10,59 \frac{kg}{m^3} \times 3,47 \frac{m}{s} \times 0,008 m \times \frac{m \cdot s}{7 \times 10^{-6} kg} \right)$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log 43481,93$$

$$n = -1,7 + 8,349$$

$$n = 6,649$$

$$\frac{\bar{V}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\frac{\bar{V}}{3,47 \frac{m}{s}} = \frac{2(6,649)^2}{(6,649+1)(2 \cdot 6,649+1)}$$

$$\bar{V} = \frac{88,41723}{109,3641}$$

$$\bar{V} = 2,8 \frac{m}{s}$$

$$Q = \bar{V} \times A$$

$$= 2,8 \frac{m}{s} \times \frac{f}{4} (0,008)^2 m^2$$

$$= 14,1 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Sehingga:

$$\dot{m}_f = \dots_{C_4H_{10}} \cdot Q$$

$$\dot{m}_f = 10,95 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,000141 \frac{m^3}{s}$$

$$= 0,001545 \frac{kg}{s}$$

$$= 1,545 \frac{gr}{s}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai Laju aliran massa Gas LPG pada masing-masing putaran.

Tabel 4.10 Data hasil Perhitungan laju aliran massa bahan bakar Gas LPG menggunakan desain mixer venturi

Putaran (rpm)	Laju Aliran Massa Gas LPG \dot{m} (kg/s)
2800	0.001471
3000	0.001545
3200	0.001621
3400	0.001651
3600	0.001758

4.3.3 Perhitungan Daya Motor atau Brake Horse Power (BHP)

Contoh : Perhitungan pada bahan bakar bensin pada putaran 3000 rpm pada sepeda motor.

Diketahui :

- Putaran Motor (n) : 3000 rpm
- Torsi : 14 Nm

Jawab :

$$\text{Torsi} = \frac{BHP}{\dot{S}}$$

Untuk mencari nilai BHP maka :

$$\begin{aligned} BHP &= \text{Torsi} \times \dot{S} \text{ (Watt)} \\ &= \text{Torsi} \times \frac{2 \times f \times n}{60} \end{aligned}$$

$$= 14Nm \times \frac{2 \times f \times 3000rpm}{60s}$$

$$= 4396 \text{ Watt}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BHP pada masing-masing putaran.

Tabel 4.11 Data hasil perhitungan Daya Motor (BHP)

Putaran (rpm)	BHP (Watt)
2800	3516,8
3000	4396
3200	3684,3
3400	4626,3
3600	4898,4

4.3.4 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)

Untuk mengetahui tekanan efektif rata-rata digunakan persamaan berikut :

$$BHP = BMEP \times V_{sil} \times a \times z \times n$$

$$BMEP = \frac{BHP}{V_{sil} \times n \times a \times z} \text{ (KPa)}$$

Dimana :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

n = putaran mesin (rpm)

= 3000 (rpm)

a = $\frac{1}{2}$ siklus (motor 4-langkah)

V_{sil} = Volume silinder (m³)

$$= 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$z = 1 \text{ silinder}$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{BMEP} = 4396 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ min}}{1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 3000 \times 0,5 \times 1} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}}$$

$$\text{BMEP} = 1406720 \text{ Pa}$$

$$\text{BMEP} = 1406,72 \text{ Kpa}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BMEP pada masing-masing putaran.

Tabel 4.12 Data Hasil Perhitungan Tekanan Efektif Rata-Rata Sepeda Motor dengan Bahan Bakar Gas LPG

Putaran (rpm)	BMEP (KPa)
2800	1125,376
3000	1406,72
3200	1178,965
3400	1480,405
3600	1567,488

4.3.5 Pemakaian bahan bakar spesifik (BSFC)

Untuk menghitung pemakaian bahan bakar spesifik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}}{\text{BHP}}$$

Dimana :

m = konsumsi bahan bakar per waktu ($\frac{kg}{sec}$)
BHP = Daya motor (Watt)

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$BSFC = 0,001545 \frac{kg}{s} \times \frac{1}{4396 \text{ Watt}} \times \frac{3600s}{h}$$

$$BSFC = 1,27 \times 10^{-3} \frac{kg}{Wh}$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai BSFC pada masing-masing putaran.

Tabel 4.13 Data Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan bakar Gas LPG (BSFC)

Putaran (rpm)	BSFC (kg/Wh)
2800	$1,51 \times 10^{-3}$
3000	$1,27 \times 10^{-3}$
3200	$1,58 \times 10^{-3}$
3400	$1,28 \times 10^{-3}$
3600	$1,29 \times 10^{-3}$

4.3.6 Perhitungan Efisiensi Thermis (η_{th})

Untuk menghitung efisiensi thermis digunakan persamaan sebagai berikut :

$$y_{th} = \frac{Energi_{out}}{Energi_{in}}$$

$$y_{th} = \frac{BHP}{m \times Q} \times 100\%$$

Dimana :

BHP = Daya motor (Watt)

Q = Lower Heat Value ($\frac{kJ}{kg}$)

Untuk bahan bakar LPG :

$$Q = 45720 \frac{kJ}{kg}$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$y_{th} = \frac{4396 \frac{Nm}{sec}}{0,001545 \frac{kg}{sec} \times 45720 \frac{kJ}{kg} \times \frac{1000 Nm}{kJ}} \times 100\%$$

$$y_{th} = 6,22 \%$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan nilai Efisiensi thermis pada masing-masing putaran.

Tabel 4.14 Data hasil perhitungan Efisiensi Theremis

Putaran (rpm)	η_{th} (%)
2800	5,23
3000	6,22
3200	4,97
3400	6,13
3600	6,10

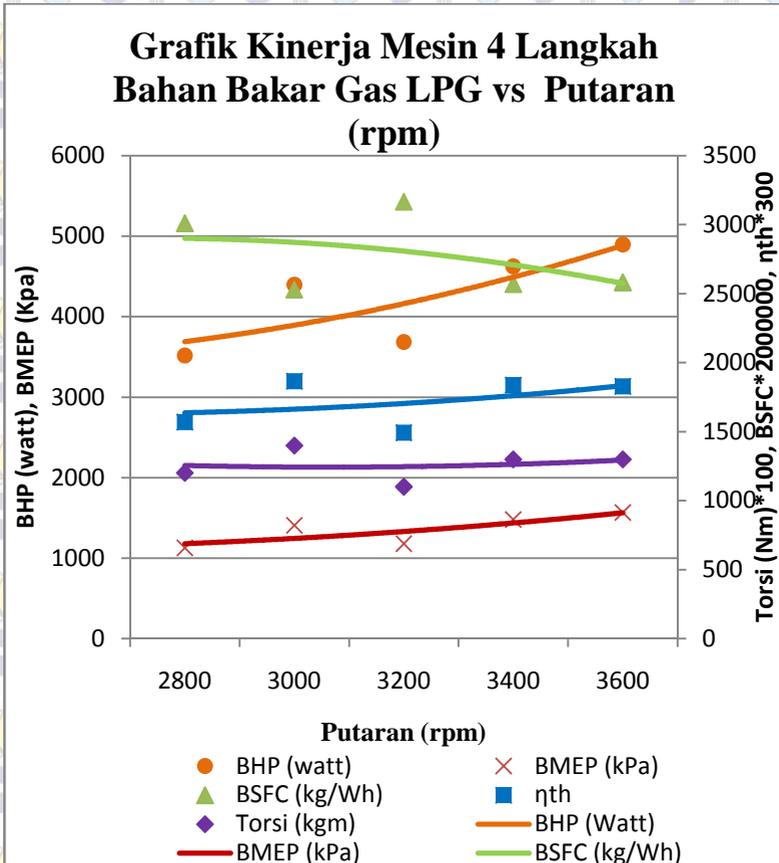
4.3.7 Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas LPG

Tabel 4.15 Data Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sepeda Motor Berbahan Bakar Gas LPG

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)	BHP (Watt)	BMEP (KPa)	BSFC (kg/Wh)	η_{th} (%)
2800	12	3516,8	1125,376	$1,51 \times 10^{-3}$	5,23
3000	14	4396	1406,72	$1,27 \times 10^{-3}$	6,22
3200	11	3684,3	1178,965	$1,58 \times 10^{-3}$	4,97
3400	13	4626,3	1480,405	$1,28 \times 10^{-3}$	6,13
3600	13	4898,4	1567,488	$1,29 \times 10^{-3}$	6,10

4.3.8 Grafik Unjuk Kerja pada Pengujian Sepeda Motor Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG

Dari tabel 4.15 maka didapatkan performa motor supra x 125 menggunakan bahan bakar gas LPG disajikan dalam bentuk grafik yaitu :

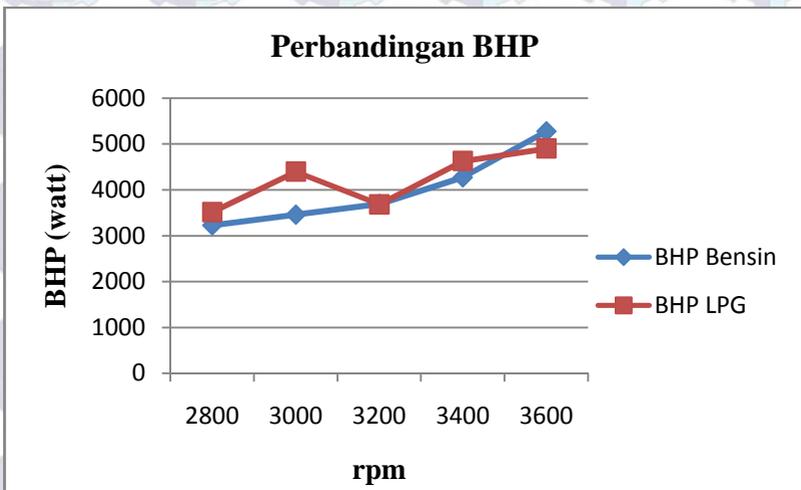


Grafik 4.2 kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar gas LPG

4.4 Grafik Perbandingan Dan Pembahasan

Dari tabel 4.1. sampai dengan 4.2. maka dapat dibandingkan unjuk kerja genset mesin antara menggunakan bahan bakar bensin murni dengan menggunakan bahan bakar gas LPG, dan disajikan dalam bentuk grafik yaitu :

4.4.1 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Daya Motor (BHP)



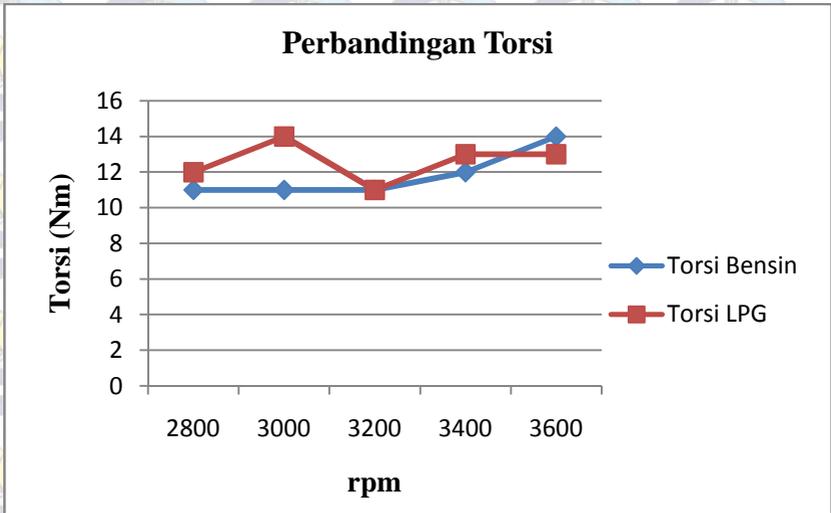
Grafik 4.3 Perbandingan BHP menggunakan bahan bakar Bensin dan LPG

Hasil analisis Daya Motor (BHP) pada grafik perbandingan BHP menunjukkan bahwa :

- Daya motor bensin empat langkah satu silinder menggunakan bahan bakar LPG cenderung lebih tinggi dibandingkan menggunakan bahan bakar Bensin.
- Nilai BHP terbesar didapat saat menggunakan bahan bakar Bensin sebesar 5275,2 watt pada rpm 3600.

- Nilai BHP terendah didapat saat menggunakan bahan bakar Bensin sebesar 3223,73 watt pada putaran 2800.
- Perbedaan grafik ini disebabkan karena Nilai Kalor Bensin lebih rendah dibandingkan dengan Nilai Kalor gas LPG.

4.4.2 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Torsi

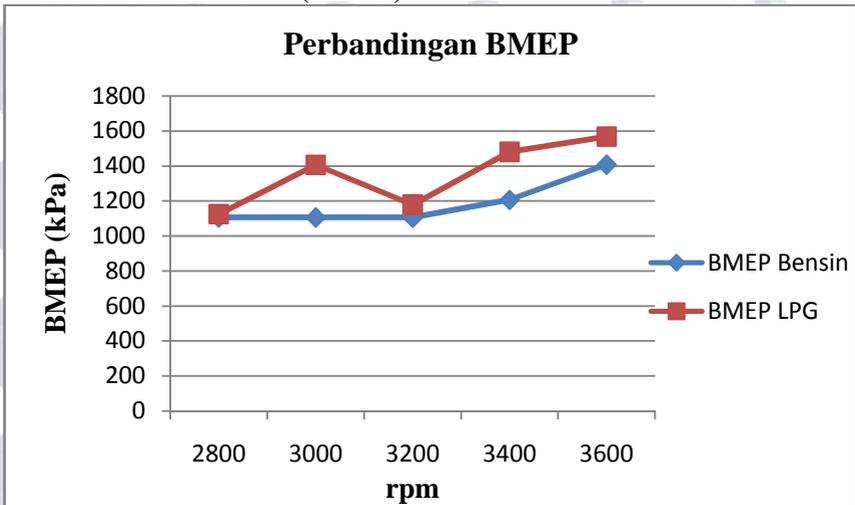


Grafik 4.4 Perbandingan Torsi menggunakan bahan bakar Bensin dan LPG

Hasil analisis Daya Motor (BHP) pada grafik perbandingan BHP menunjukkan bahwa :

- Nilai torsi tertinggi sebesar 14 Nm didapat saat menggunakan bakar LPG pada rpm 3000 dan bahan bakar Bensin pada rpm 3600.
- Nilai torsi terendah didapat saat menggunakan bahan bakar Bensin pada rpm 2800, 3000, 3200 dan saat menggunakan bahan bakar LPG pada rpm 3200 yaitu sebesar 11 Nm.

4.4.3 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)

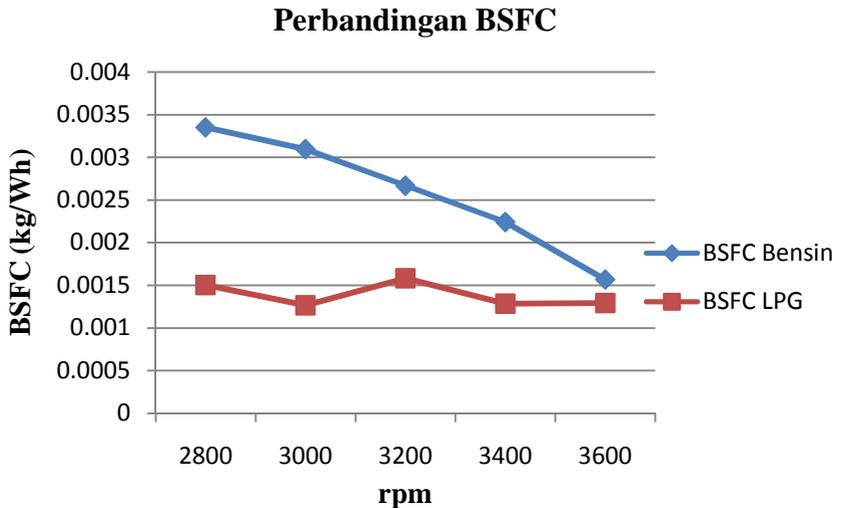


Grafik 4.5 Perbandingan Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP) menggunakan bahan bakar Bensin dan LPG

Hasil analisis Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP) pada grafik perbandingan BMEP menunjukkan bahwa :

- Pada putaran rpm semakin besar, nilai rata-rata BMEP cenderung lebih besar menggunakan bahan bakar LPG dan nilai BMEP terbesar didapat pada bahan bakar gas LPG sebesar 1567,488 kPa pada saat rpm 3600.
- Nilai BMEP terendah didapat saat menggunakan bahan bakar bensin sebesar 1105,28 kPa pada rpm 2800, 3000 dan 3200.

4.4.4 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

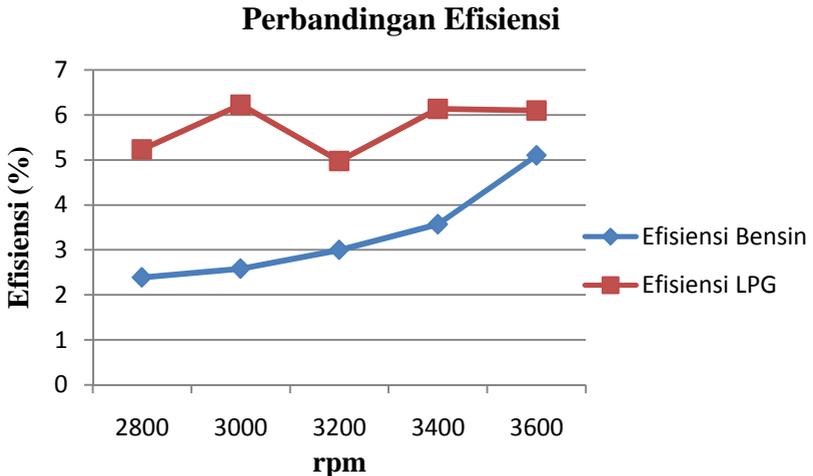


Grafik 4.6 Perbandingan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC) menggunakan bahan bakar Bensin dan LPG

Hasil analisis Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC) pada grafik perbandingan BSFC menunjukkan bahwa :

- Nilai BSFC lebih besar menggunakan bahan bakar Bensin dari pada menggunakan bahan LPG, karena Laju aliran massa bahan bakar LPG lebih rendah dibanding dengan Bensin. Hal ini dikarenakan nilai kalor bahan bakar Bensin yang rendah.
- Nilai BSFC terbesar didapat pada bahan bakar Bensin sebesar $3,35 \times 10^{-3}$ Kg/Wh pada konstan speed 2800.
- Nilai BSFC terendah didapat pada bahan bakar LPG yakni $1,27 \times 10^{-3}$ Kg/Wh pada konstan speed 3000.

4.4.5 Grafik Perbandingan dan Pembahasan Efisiensi



Grafik 4.7 Perbandingan Efisiensi menggunakan bahan bakar Bensi dan LPG

Hasil analisis Efisiensi pada grafik perbandingan Efisiensi menunjukkan bahwa :

- Nilai efisiensi terbesar didapat saat menggunakan bahan bakar gas LPG sebesar 6,22 % pada rpm 3000.
- Nilai efisiensi terendah didapat saat menggunakan bahan bakar Bensi sebesar 2,39 % pada saat rpm 2800.
- Efisiensi LPG lebih tinggi karena nilai titik bawah (LHV) Bensi = 44991,35 KJ/Kg. Sedangkan nilai titik bawah (LHV) LPG = 45720 KJ/Kg. Jumlah suplai LPG juga berpengaruh pada efisiensi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan perbandingan unjuk kerja pada motor 4 langkah menggunakan bahan bakar gas LPG dan menggunakan bahan bakar bensin.

1. Pada rentang putaran mesin 2800 sampai 3600 daya (BHP) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG relatif lebih besar dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin. Misalnya pada putaran jelajah $n = 3400$ rpm daya (BHP) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG adalah 4626,27 watt dan bahan bakar bensin 4270,4 watt.
2. Pada rentang putaran mesin 2800 sampai 3600 torsi (T) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG relatif lebih besar dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin. Misalnya pada putaran jelajah $n = 3400$ rpm torsi (T) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG adalah 13 Nm dan bahan bakar bensin 12 Nm.
3. Pada rentang putaran mesin 2800 sampai 3600 tekanan efektif rata-rata (BMEP) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG relatif lebih besar dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin. Misalnya pada putaran jelajah $n = 3400$ rpm tekanan efektif rata-rata (BMEP) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG adalah 1480,41 KPa dan bahan bakar bensin 1205,76 KPa.
4. Pada rentang putaran mesin 2800 sampai 3600 pemakaian bahan bakar spesifik (BSFC) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG relatif lebih rendah dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin. Misalnya pada putaran jelajah $n = 3400$ rpm pemakaian bahan bakar spesifik (BSFC) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG adalah

$1,3 \times 10^{-3}$ Kg/Wh dan bahan bakar bensin $2,2 \times 10^{-3}$ Kg/Wh.

5. Pada rentang putaran mesin 2800 sampai 3600 efisiensi (y_{th}) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG relatif lebih besar dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin. Misalnya pada putaran jelajah $n = 3400$ rpm efisiensi (y_{th}) yang dihasilkan dengan bahan bakar LPG adalah 6,1 % dan bahan bakar bensin 3,6 %.

5.2 Saran

Pada penelitian ini masih banyak hal yang perlu dikembangkan untuk penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut mengenai rancangan mixer venturi karena pada putaran > 3600 operasi mesin tidak stabil.
2. Perlu diadakan penelitian dalam jangka panjang, untuk mengetahui efek gas lpg terhadap komponen mesin sepeda motor.
3. Perlu *flowmeter* yang akurat untuk mengukur konsumsi LPG.

LAMPIRAN A

TABEL KONVERSI SATUAN

Appendix

TABLE I
DEFINITIONS AND CONVERSION FACTORS†

Abbreviations and Symbols

g gram, J joule, m meter, N newton, s second, W watt

Prefix.....	mega	kilo	hecto	deka	deci	centi	milli	micro	nano	pico
Symbol.....	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p
Factor.....	10^6	10^3	10^2	10	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

IT International Steam Table units (otherwise, thermochemical).

int International units of 1948 (obsolete).

First entry in each of the following groups is the basic SI definition.

Asterisk (*) denotes exact definition.

Length

(The *meter** m, the basic unit of length, is equal to 1,650,763.73 wavelengths of the radiation emitted by electron transition between two particular energy levels of krypton 86.) (Sec. 4-16)

$$1 \text{ m} = 3.280840 \text{ ft} = 39.37008 \text{ in.} = (10^{10})^* \text{ angstrom}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048^* \text{ m} = 12^* \text{ in.} \quad 1 \text{ in.} = 0.0254^* \text{ m}$$

1 U.S. mile = 1,609.344* m = 5,280* ft = 0.8689762 U.S. (and international) nautical mile.

Mass‡

(The *kilogram** kg, the basic unit of mass, is equal to a particular cylinder of platinum-iridium alloy, called the International Prototype Kilogram, which is preserved in a vault at Sèvres, France.)

$$1 \text{ kg} = 2.204623 \text{ lb} = 0.06852177 \text{ slug} = (10^{-3})^* \text{ metric ton}$$

$$1 \text{ lb} = 453.59237^* \text{ g} = 16 \text{ oz} = 7,000 \text{ grain}$$

$$1 \text{ slug} = 14.59390 \text{ kg} = 32.1740 \text{ lb}$$

$$1 \text{ ton} = 2,000^* \text{ lb} = 0.9071847 \text{ metric ton}$$

†Abridged from E. Meehly, "The International System (SI) of Units," NASA SP-7012 (1964), and R. Wilhoit, W. Hathaway: API Research Project 44 (December 1966).

‡Symbols kg, lb, etc. for mass units, and kg_f, lb_f, etc. for force units.

Lampiran A (Lanjutan)

$1 \text{ IT cal} = 4.1868^* \text{ J} = 1.000669 \text{ cal} = 0.003968321 \text{ IT Btu} = 3.088025 \text{ ft-lb}_f$
 $1 \text{ IT Btu} = 1055.056 \text{ J} = 251.9958^* \text{ IT cal} = 252.1644 \text{ cal} = 778.1693 \text{ ft-lb}_f = 10.41259 \text{ liter-atm}$
 $1 \text{ ft-lb}_f = 1.355818 \text{ J} = 0.3240483 \text{ cal} = 0.001285067 \text{ IT Btu} = 0.1382549 \text{ kg}_f\text{-m}$
 $1 \text{ kw-hr} = 3,600,000^* \text{ J} = 3412.142 \text{ IT Btu} = 1.341022 \text{ hp-hr} = 2,655,224 \text{ ft-lb}_f$
 $1 \text{ hp-hr} = 1,980,000^* \text{ ft-lb}_f = 2,684,519 \text{ J} = 2544.433 \text{ IT Btu}$

Power
 (The *watt** W, the basic unit of power, is equal to the energy rate of 1 joule per second.)
 $1 \text{ W} = 1^* \text{ J/s} = 1^* \text{ m}^2 \text{ N/s} = (10^3)^* \text{ erg/sec}$
 $1 \text{ cal/s} = 4.184^* \text{ W} = 3.08596 \text{ ft-lb}_f/\text{s} = 0.426649 \text{ m-kg}_f/\text{s}$
 $1 \text{ m-kg}_f/\text{s} = 9.80665^* \text{ W} = 7.23298 \text{ ft-lb}_f/\text{s}$
 $1 \text{ hp (mech)} = 745.69987^* \text{ W} = 550^* \text{ ft-lb}_f/\text{s} = 33,000 \text{ ft-lb}_f/\text{min} = 2544.433 \text{ IT Btu/hr} = 1.01387 \text{ hp (metric)} = 0.999598 \text{ hp (elect)}$
 $1 \text{ hp (elect)} = 746^* \text{ W} = 1.00040 \text{ hp (mech)} = 1.01428 \text{ hp (metric)}$
 $1 \text{ hp (metric)} = 735.499 \text{ W} = 75 \text{ m-kg}_f/\text{s} = 542.476 \text{ ft-lb}_f/\text{s}$
 $1 \text{ hp (boiler)} = 13.1548^* \text{ hp (mech)}$

Specific Energy
 $1 \text{ cal/g} = 4.1840^* \text{ J/g} = 1.798796 \text{ IT Btu/lb}$
 $1 \text{ IT cal/g} = 4.1868^* \text{ J/g} = 1.8^* \text{ IT Btu/lb}$

Specific Energy per Degree
 $1 \text{ cal/g}^\circ\text{K} = 4.1840^* \text{ J/g}^\circ\text{K} = 0.9993312 \text{ IT Btu/lb}^\circ\text{R}$
 $1 \text{ IT cal/g}^\circ\text{K} = 4.1868^* \text{ J/g}^\circ\text{K} = 1^* \text{ IT Btu/lb}^\circ\text{R}$ (Definition of IT Btu).
 $1 \text{ IT Btu/lb}^\circ\text{R} = 1.000669 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$

Speed
 $1 \text{ ft/s} = 0.3048^* \text{ m/s}$
 $1 \text{ mile (U.S.)/hr} = 0.44704^* \text{ m/s} = 1.609344^* \text{ km/hr} = 0.8689762 \text{ knot} = 1.466667 \text{ ft/s}$

Area
 $1 \text{ in.}^2 = 6.4516^* \text{ cm}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 929.0304 \text{ cm}^2 = 144^* \text{ in.}^2$

*A "thermochemical" Btu is also found in the literature, and defined by $1 \text{ cal/g}^\circ\text{K} = 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{R}$.

Lampiran A (Lanjutan)

Time

(The *second*,* the basic unit of time, is equal to that defined by the frequency, 9,192,631,770 cycle/sec, of the radiation emitted by electron transition between two particular energy levels of cesium 133.)

$$1 \text{ hr} = 3,600^* \text{ s} = 60^* \text{ min}$$

Acceleration

$$\begin{aligned} g_0 &= \text{standard acceleration of gravity} = 9.80665^* \text{ m/s}^2 \\ &= 32.17405 \text{ ft/s}^2 \\ 1 \text{ ft/sec}^2 &= 0.3048^* \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Force

(The *newton** N, the basic unit of force, is equal to the force which will accelerate a mass of 1 kilogram at the rate of 1 meter per second per second.)

$$1 \text{ N} = (10^5)^* \text{ dyne} = 0.1019716 \text{ kg}_f = 0.2248089 \text{ lb}_f$$

$$1 \text{ kg}_f = 9.80665^* \text{ N} = 1^* \text{ kilopond force} = 2.204623 \text{ lb}_f$$

$$1 \text{ lb}_f = 4.4482216152605^* \text{ N} = 16 \text{ oz} = (10^{-3})^* \text{ kip}$$

Pressure

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 101,325^* \text{ N/m}^2 = 1.01325^* \text{ bar} = 14.69595 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = \\ &= 29.92129 \text{ in. Hg (32°F)} = 76 \text{ cm Hg (0°C)} = 33.93615 \text{ ft H}_2\text{O (60°F)} = \\ &= 1.033227 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$1 \text{ bar} = (10^6)^* \text{ dyne/cm}^2 = 14.50377 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 1.019716 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 14.22334 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 735.5592 \text{ mm Hg (0°C) (torr)}$$

$$1 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 2.036023 \text{ in. Hg (32°F)} = 2.309218 \text{ ft H}_2\text{O (60°F)}$$

$$1 \text{ torr} = 1^* \text{ mm Hg (0°C)}$$

Temperature

(The *thermodynamic Kelvin temperature** K is equal to that defined by the Carnot cycle when the triple-point temperature of water is assigned a value of exactly 273.16°K.) (Ice point: 273.1500°K ± 0.0001.)

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad ^{\circ}\text{F} = 1.8^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67 \quad 1.8^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{R}$$

Energy†

(The *joule** J, the basic unit of energy, is equal to the energy of a force of 1 newton acting through a distance of 1 meter.)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ m}\cdot\text{N}^* = (10^7)^* \text{ erg} = 0.999835 \text{ int J} = 0.1019716 \text{ m}\cdot\text{kg}_f = 0.7375622 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f$$

$$1 \text{ cal} = 4.184^* \text{ J} = 0.9993312 \text{ IT cal} = 0.003965667 \text{ IT Btu} = 3.08596 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f$$

†The IT Btu (Btu) and the thermochemical caloric (cal) are the units of the text.

Lampiran A (Lanjutan)

Density

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1,000 * \text{ kg/m}^3 = 0.03612728 \text{ lb/in.}^3 = 62.42795 \text{ lb/ft}^3 = 8.345403 \text{ lb/gal (U.S.)}$$

$$1 \text{ slug/ft}^3 = 32.1740 \text{ lb/ft}^3 = 0.515379 \text{ g/cm}^3$$

Volume

$$1 \text{ liter} = 0.001 * \text{ m}^3 = 1,000 \text{ cm}^3 = 61.02375 \text{ in.}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 1728 * \text{ in.}^3 = 28,316.85 \text{ cm}^3 = 6.22889 \text{ gal (British)} = 7.48052 \text{ gal (U.S.)}$$

$$1 \text{ gal (U.S.)} = 231 * \text{ in.}^3 = 0.83267 \text{ gal (Canada)}$$

Gas Constant

$$R_0 = 8.3143 * \frac{\text{J}}{\text{g mole } ^\circ\text{K}} = 1.98717 \frac{\text{cal}}{\text{g mole } ^\circ\text{K}} = 82.0561 \frac{\text{atm cm}^3}{\text{g mole } ^\circ\text{K}}$$

$$R_0 = 1.98584 \frac{\text{JT Btu}}{\text{mole } ^\circ\text{R}} = 1545.32 \frac{\text{ft}\cdot\text{lb}}{\text{mole } ^\circ\text{R}} = 10.7314 \frac{\text{psi ft}^3}{\text{mole } ^\circ\text{R}}$$

Other

Mole (unified): The amount of substance containing the same number of units (molecules, atoms, ions, electrons, etc.) as there are atoms in 12 grams of the pure nuclide carbon-12. (g-mole is gram mole; mole is pound mole).

Avogadro number N : $6.02252(10)^{23}$ molecules/mole

$$g_c = \text{unity} = 32.1740 \frac{\text{lb}\cdot\text{ft}}{\text{lb}\cdot\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{Ns}^2} = 1 \frac{\text{g}\cdot\text{cm}}{\text{dyne}\cdot\text{s}^2} = 1 \frac{\text{slug}\cdot\text{ft}}{\text{lb}\cdot\text{s}^2}$$

$$\ln_e x = 2.3025851 \log_{10} x \quad 1 \text{ radian} = 57.296 \text{ degrees}$$

$$c_p (\text{water}) \approx 1 \text{ Btu}/(\text{lb}_m)(^\circ\text{R})$$

$$c_p (\text{iron or steel}) \approx 0.2 \text{ Btu}/(\text{lb}_m)(^\circ\text{R})$$

Lampiran C

Tabel A.10 Properties of Air at Atmospheric (SI Units)

Table A.10
Properties of Air at Atmospheric Pressure (SI Units)

Temperature, T ($^{\circ}\text{C}$)	Density, ρ (kg/m^3)	Dynamic Viscosity, μ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	Kinematic Viscosity, ν (m^2/s)
0	1.29	1.72E-05	1.33E-05
5	1.27	1.74E-05	1.37E-05
10	1.25	1.76E-05	1.41E-05
15	1.23	1.79E-05	1.45E-05
20	1.21	1.81E-05	1.50E-05
25	1.19	1.84E-05	1.54E-05
30	1.17	1.86E-05	1.59E-05
35	1.15	1.89E-05	1.64E-05
40	1.13	1.91E-05	1.69E-05
45	1.11	1.93E-05	1.74E-05
50	1.09	1.95E-05	1.79E-05
55	1.08	1.98E-05	1.83E-05
60	1.06	2.00E-05	1.89E-05
65	1.04	2.03E-05	1.94E-05
70	1.03	2.04E-05	1.98E-05
75	1.01	2.06E-05	2.04E-05
80	1.00	2.09E-05	2.09E-05
85	0.987	2.11E-05	2.14E-05
90	0.973	2.13E-05	2.19E-05
95	0.960	2.15E-05	2.24E-05
100	0.947	2.17E-05	2.29E-05

Properties of Water (SI Units)

Temperature, T ($^{\circ}\text{C}$)	Density, ρ (kg/m^3)	Dynamic Viscosity, μ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	Kinematic Viscosity, ν (m^2/s)	Surface Tension, σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v (kPa)	Bulk Modulus, E_c (GPa)
0	1000	1.76E-03	1.76E-06	0.0757	0.662	2.01
5	1000	1.51E-03	1.51E-06	0.0749	0.872	
10	1000	1.30E-03	1.30E-06	0.0742	1.23	
15	999	1.14E-03	1.14E-06	0.0735	1.71	
20	998	1.01E-03	1.01E-06	0.0727	2.34	2.21
25	997	8.94E-04	8.96E-07	0.0720	3.17	
30	996	8.00E-04	8.00E-07	0.0712	4.25	
35	994	7.21E-04	7.25E-07	0.0704	5.63	
40	992	6.53E-04	6.59E-07	0.0696	7.38	
45	990	5.95E-04	6.02E-07	0.0688	9.59	
50	988	5.46E-04	5.52E-07	0.0679	12.4	2.29
55	986	5.02E-04	5.09E-07	0.0671	15.8	
60	983	4.64E-04	4.72E-07	0.0662	19.9	
65	980	4.31E-04	4.40E-07	0.0654	25.0	
70	978	4.01E-04	4.10E-07	0.0645	31.2	
75	975	3.75E-04	3.85E-07	0.0636	38.6	
80	972	3.52E-04	3.63E-07	0.0627	47.4	
85	969	3.31E-04	3.41E-07	0.0618	57.8	
90	965	3.12E-04	3.23E-07	0.0608	70.1	2.12
95	962	2.95E-04	3.06E-07	0.0599	84.6	
100	958	2.79E-04	2.92E-07	0.0589	101	

Densities, molecular weight and chemical formulas of some common gases can be found in the table below:

Gas	Formula	Molecular weight	Density - ρ	
			(kg/m^3)	(lb_m/ft^3)
Acetylene (ethyne)	C_2H_2	26	1.092 ¹⁾ 1.170 ²⁾	0.0682 ¹⁾ 0.0729 ²⁾
Air		29	1.205 ¹⁾ 1.293 ²⁾	0.0752 ¹⁾ 0.0806 ²⁾
Ammonia	NH_3	17.031	0.717 ¹⁾ 0.769 ²⁾	0.0448 ¹⁾ 0.0480 ²⁾
Argon	Ar	39.948	1.661 ¹⁾ 1.783 ²⁾	0.1037 ¹⁾ 0.1113 ²⁾
Benzene	C_6H_6	78.11	3.486	0.20643
Blast furnace gas			1.250 ²⁾	0.0780 ²⁾
Butane	C_4H_{10}	58.1	2.489 ¹⁾ 2.5 ²⁾	0.1554 ¹⁾ 0.156 ²⁾
Butylene (Butene)	C_4H_8	58.11	2.504	0.148 ²⁾
Carbon dioxide	CO_2	44.01	1.842 ¹⁾ 1.977 ²⁾	0.1150 ¹⁾ 0.1234 ²⁾
Carbon disulphide		76.13		
Carbon monoxide	CO	28.01	1.165 ¹⁾ 1.250 ²⁾	0.0727 ¹⁾ 0.0780 ²⁾
Carbureted Water Gas				0.048
Chlorine	Cl_2	70.906	2.994 ¹⁾	0.1869 ¹⁾
Coal gas			0.59 ²⁾	
Coke Oven Gas				0.034 ²⁾
Combustion products			1.11 ²⁾	0.069 ²⁾
Cyclohexane		84.16		
Digester Gas (Sewage or Biogas)				0.062
Ethane	C_2H_6	30.07	1.264 ¹⁾	0.0789 ¹⁾
Ethyl Alcohol		46.07		
Ethyl Chloride		64.52		
Ethylene	C_2H_4	28.03	1.260 ²⁾	0.0786 ²⁾
Helium	He	4.02	0.1664 ¹⁾ 0.1785 ²⁾	0.01039 ¹⁾ 0.01114 ²⁾
N-Heptane		100.20		
Hexane		86.17		
Hydrogen	H_2	2.016	0.0899 ²⁾	0.0056 ²⁾
Hydrochloric Acid		36.47	1.63 ²⁾	

Hydrogen Chloride	<i>HCl</i>	36.5	1.528 ¹⁾	0.0954 ¹⁾
Hydrogen Sulfide	<i>H₂S</i>	34.076	1.434 ¹⁾	0.0895 ¹⁾
Krypton			3.74 ²⁾	
Methane	<i>CH₄</i>	16.043	0.668 ¹⁾ 0.717 ²⁾	0.0417 ¹⁾ 0.0447 ²⁾
Methyl Alcohol		32.04		
Methyl Butane		72.15		
Methyl Chloride		60.49		
Natural gas		19.5	0.7 - 0.9 ²⁾	0.044 - 0.056 ²⁾
Neon	<i>Ne</i>	20.179	0.8989 ²⁾	0.056179 ²⁾
Nitric oxide	<i>NO</i>	30.0	1.249 ¹⁾	0.0780 ¹⁾
Nitrogen	<i>N₂</i>	28.02	1.165 ¹⁾ 1.2608 ²⁾	0.0727 ¹⁾ 0.078072 ²⁾
Nitrogen Dioxide	<i>NO₂</i>	46.006		
N-Octane		114.22		
Nitrous Oxide	<i>N₂O</i>	44.013		0.114
Nitrous Trioxide	<i>NO₃</i>	62.005		
Oxygen	<i>O₂</i>	32	1.331 ¹⁾ 1.4280 ²⁾	0.0831 ¹⁾ 0.089210 ²⁾
Ozone	<i>O₃</i>	48.0	2.14 ²⁾	0.125
N-Pentane		72.15		
Iso-Pentane		72.15		
Propane	<i>C₃H₈</i>	44.09	1.892 ¹⁾	0.1175 ¹⁾
Propene (propylene)	<i>C₃H₆</i>	42.1	1.749 ¹⁾	0.1091 ¹⁾
R-11		137.37		
R-12		120.92		
R-22		86.48		
R-114		170.93		
R-123		152.93		
R-134a		102.03		
Sasol				0.032
Sulfur	<i>S</i>	32.06		0.135
Sulfur Dioxide	<i>SO₂</i>	64.06	2.279 ¹⁾ 2.928 ²⁾	0.1703 ¹⁾ 0.1828 ²⁾
Sulfur Trioxide	<i>SO₃</i>	80.062		
Sulfuric Oxide	<i>SO</i>	48.963		
Toluene	<i>C₇H₈</i>	92.141	4.111	0.2435

Water Vapor, steam	H ₂ O	18.016	0.804	0.048
Water gas (bituminous)				0.054
Xenon			$5.85^{(2)}$	

¹ **NTP - Normal Temperature and Pressure** - is defined as air at 20°C (293.15 K, 68°F) and 1 atm (101.325 kN/m², 101.325 kPa, 14.7 psia, 0 psig, 30 in Hg, 760 torr).

² **STP - Standard Temperature and Pressure** - is defined as air at 0°C (273.15 K, 32°F) and 1 atm (101.325 kN/m², 101.325 kPa, 14.7 psia, 0 psig, 30 in Hg, 760 torr).

- 1 lb_m/ft³ = 16.018 kg/m³
- 1 kg/m³ = 0.0624 lb_m/ft³

Sumber: http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html

Table A.25 Thermohemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

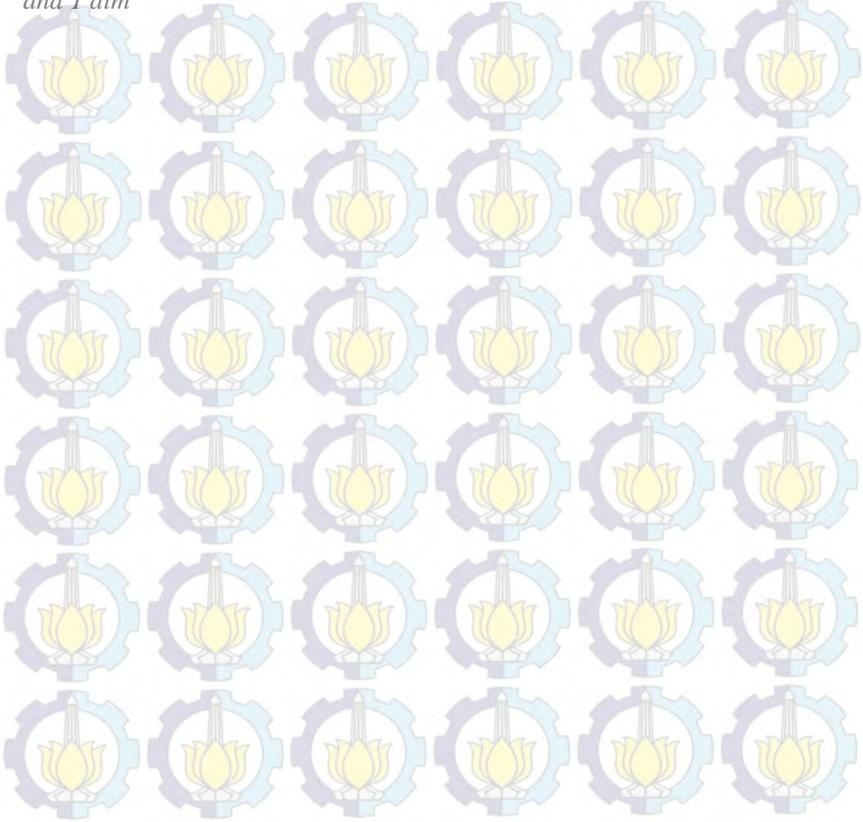


Table A-26 Thermophysical Properties of Selected Substances at 2900 and 7-bar

Substance	Formula	Molar Mass M (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, h_f° (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, g_f° (kJ/kmol)	Absolute Entropy, T s_f° (kJ/kmol·K)	Heating Values	
						Higher HHV (kJ/kg)	Lower LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	0		
Hydrogen	H ₂ (g)	2.016	0	0	0		
Nitrogen	N ₂ (g)	28.01	0	0	0		
Oxygen	O ₂ (g)	32.00	0	0	0		
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	-110,530	-137,140	197.54		
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	44.01	-393,520	-394,380	213.69		
Water	H ₂ O(g)	18.02	-241,820	-228,590	188.72		
	H ₂ O(l)	18.02	-285,830	-237,180	69.95		
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂ (g)	34.02	-133,310	-105,000	232.03		
Ammonia	NH ₃ (g)	17.03	-46,190	-16,390	192.33		
Hydrogen cyanide	HCN(g)	26.04	-123,170	-231,770	160.95		
Hydrogen chloride	HCl(g)	36.46	-92,310	-200,290	114.61		
Hydrogen fluoride	HF(g)	20.01	-293,070	-455,510	159.14		
Hydrogen iodide	HI(g)	127.91	-29,700	34,290	183.75		
Hydrogen bromide	HBr(g)	80.91	-36,400	-50,700	189.16		
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	55,510	50,020
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	49,910	48,220
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	82,720	229.46	30,700	47,160
Butadiene	C ₄ H ₆ (g)	54.09	103,850	-23,490	266.94	51,070	47,280
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	48,920	45,780
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,350	46,360
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	82,720	229.46	49,500	46,750
Butadiene	C ₄ H ₆ (g)	54.09	103,850	-23,490	266.94	49,010	46,130
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,260	45,790
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	47,900	44,580
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	82,720	229.46	42,270	40,580
Butadiene	C ₄ H ₆ (g)	54.09	103,850	-23,490	266.94	23,850	21,110
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	22,570	19,020
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	30,990	27,750
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	82,720	229.46	23,670	21,000

Based on JANAF Thermochemical Tables, NBS-RS-973 (1971); Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties, NIST Tech. Rep. 900, 1985; and JPL Research Paper 44, Carnegie Press, 1953. h_f° values calculated.

Lampiran D

Tabel 1. Sifat Beberapa Bahan Bakar ⁽²⁾

No.	Karakteristik	Premium	LPG	CNG
1	Komposisi	C ₈ H ₁₈	C ₃ H ₈	CH ₄
2	Densitas	752 kg/m ³	1,5 kg/m ³	0,6 kg/m ³
3	Berat molekul	114,8 kg/kmol	44,09kg/kmol	17,51 kg/kmol
4	Nilai Kalor	45950 kJ/kmol	46360 kJ/kmol	47476 kJ/kmol
5	AFR Stoikiometri	14,57	15,6	16,15
6	Temperatur Penyalaan Min.	360°C	460°C	521,4°C
7	Kecepatan Nyala	20 - 40 m/s	0,82 m/s	0,66 m/s
8	Angka Oktan	88	110	130

Burhanudin, Tulus. 2002. Tinjauan pengembangan bahan bakar gas sebagai bahan bakar alternatif. Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara.

Lampiran D (Lanjutan)

Chemical, physical and thermal properties of n-Butane(C_4H_{10})

Molecular Weight	58.12
Specific Gravity	2.07
Specific Volume ($ft^3/lb, m^3/kg$)	6.5, 0.405
Density of liquid at atmospheric pressure ($lb/ft^3, kg/m^3$)	37.5, 604
Vapor pressure at 25°C (psia, MN/m^2)	35.4, 0.0244
Absolute Viscosity ($lb_m/ft \cdot s, centipoises$)	$4.3 \cdot 10^{-6}$, 0.007
Sound velocity in gas (m/s)	216
Specific Heat - c_p - ($Btu/lb^{\circ}F$ or $cal/kg^{\circ}C, J/kgK$)	0.39, 1675
Specific Heat Ratio - c_p/c_v	1.096
Gas constant - R - ($ft \cdot lb/lb^{\circ}R, J/kg^{\circ}C$)	23.66, 143
Thermal Conductivity ($Btu/hr \cdot ft \cdot ^{\circ}F, W/m^{\circ}C$)	0.01, 0.017
Boiling Point - saturation pressure 14.7 psia and 760 mm Hg - ($^{\circ}F, ^{\circ}C$)	31.2, -0.4
Latent Heat of Evaporation at boiling point ($Btu/lb, J/kg$)	165.6, 386000
Freezing or Melting Point at 1 atm ($^{\circ}F, ^{\circ}C$)	-217, -138
Latent Heat of Fusion ($Btu/lb, J/kg$)	19.2, 44700
Critical Temperature ($^{\circ}F, ^{\circ}C$)	306, 152
Critical Pressure (psia, MN/m^2)	550, 3.8
Critical Volume ($ft^3/lb, m^3/kg$)	0.070, 0.0043
Flammable	yes
Heat of combustion ($Btu/ft^3, Btu/lb, kJ/kg$)	3300, 21400, 49700

www.engineeringtoolbox.com

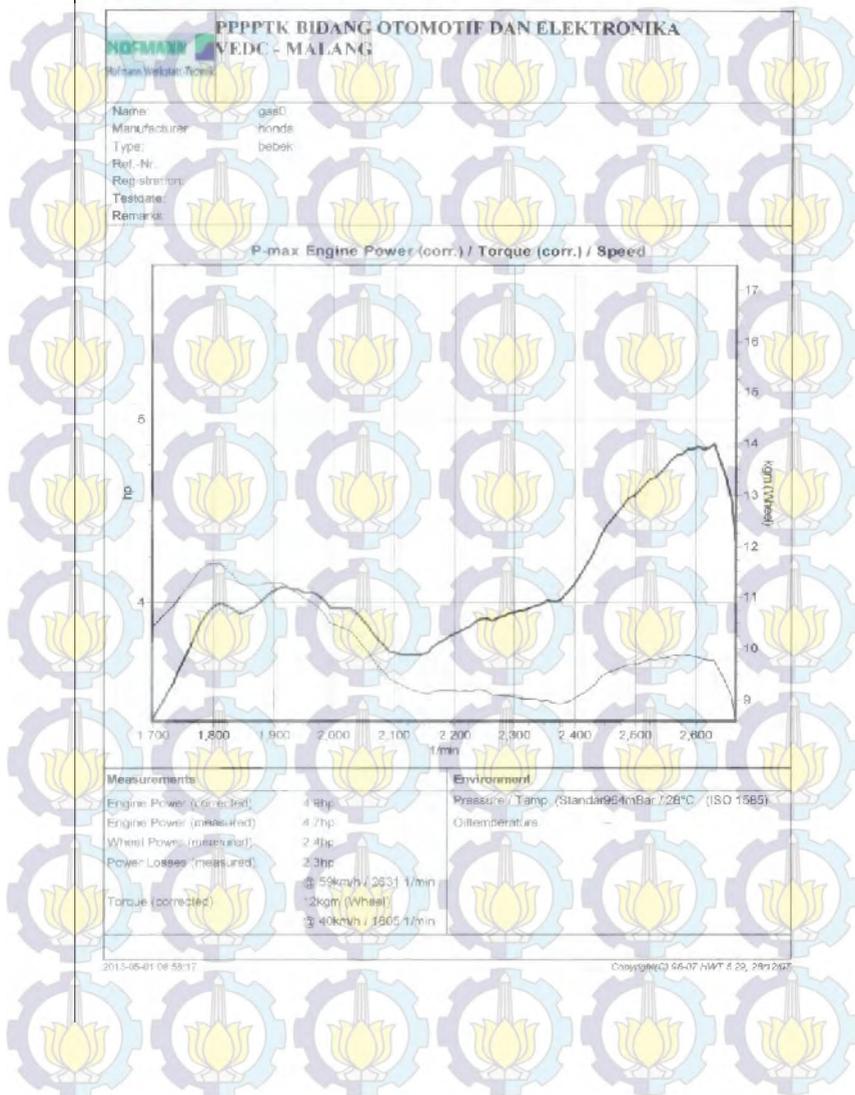
Lampiran D (Lanjutan)

Chemical, physical and thermal properties of Propane - C_3H_8 :

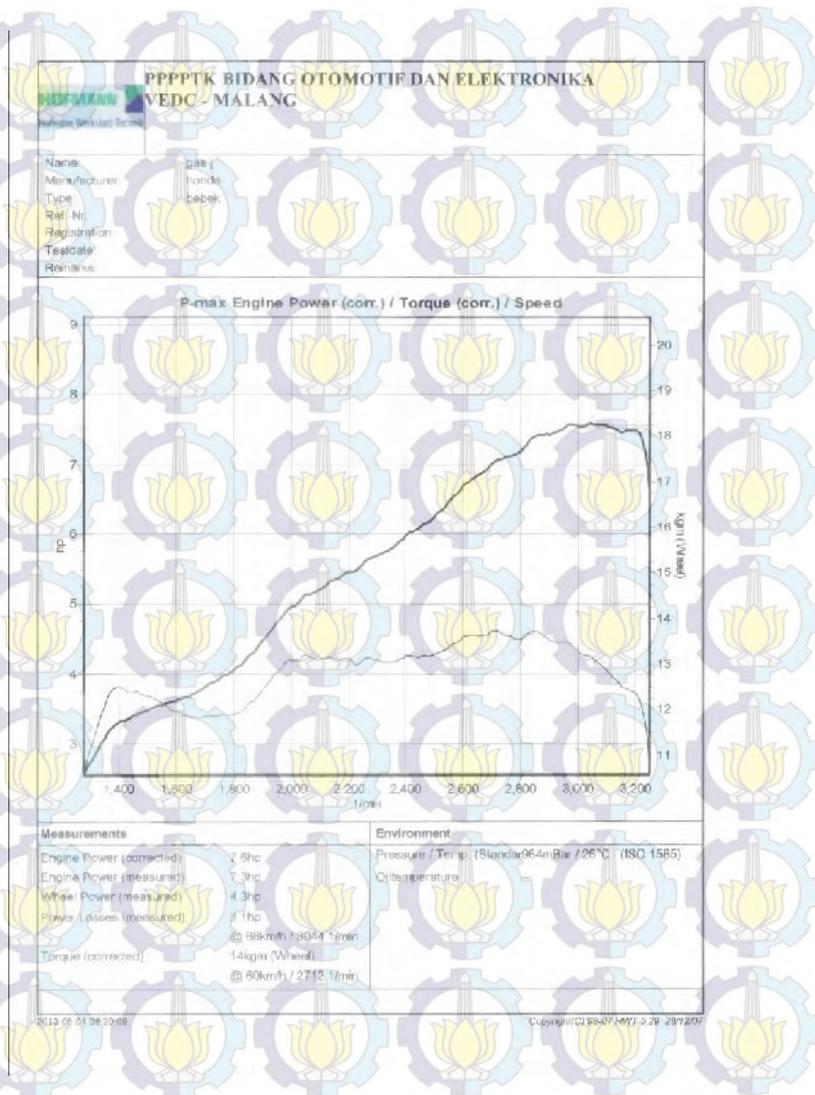
Molecular Weight	44.097
Specific Gravity of gas (air = 1.00)	1.52
Specific Volume (ft^3/lb , m^3/kg)	8.84, 0.552
Density of liquid at atmospheric pressure (lb/ft^3 , kg/m^3)	36.2, 530
Vapor pressure at 25°C (psia, $1/IN/m^2$)	135.7, 0.936
Absolute Viscosity ($lb_m/ft \cdot s$, centipoises)	$53.8 \cdot 10^{-6}$, 0.080
Sound velocity in gas (m/s)	253
Specific Heat - c_p - ($Btu/lb^{\circ}F$ or $cal/g^{\circ}C$, J/kgK)	0.39, 1630
Specific Heat Ratio - c_p/c_v	1.2
Gas constant - R - ($ft \cdot lb/lb^{\circ}R$, $J/kg^{\circ}C$)	35.0, 188
Thermal Conductivity ($Btu/hr \cdot ft^{\circ}F$, $W/m^{\circ}C$)	0.010, 0.017
Boiling Point - saturation pressure 14.7 psia and 760 mm Hg - ($^{\circ}F$, $^{\circ}C$)	-44, -42.2
Latent Heat of Evaporation at boiling point (Btu/lb , J/kg)	184, 42800
Freezing or Melting Point at 1 atm ($^{\circ}F$, $^{\circ}C$)	-309.8, -189.9
Latent Heat of Fusion (Btu/lb , J/kg)	19.1, 44400
Critical Temperature ($^{\circ}F$, $^{\circ}C$)	235, 96
Critical Pressure (psia, MPa)	618, 4.26
Critical Volume (ft^3/lb , m^3/kg)	0.073, 0.0045
Flammable	yes
Heat of combustion (Btu/ft^3 , Btu/lb , kJ/kg)	2450, 21560, 50340

www.engineeringtoolbox.com

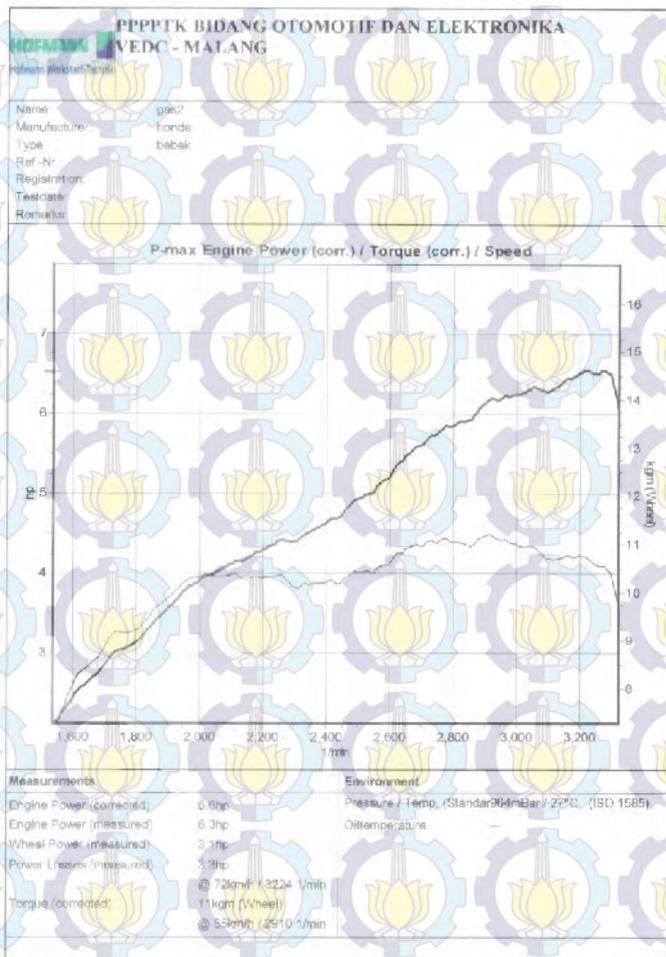
Lampiran E



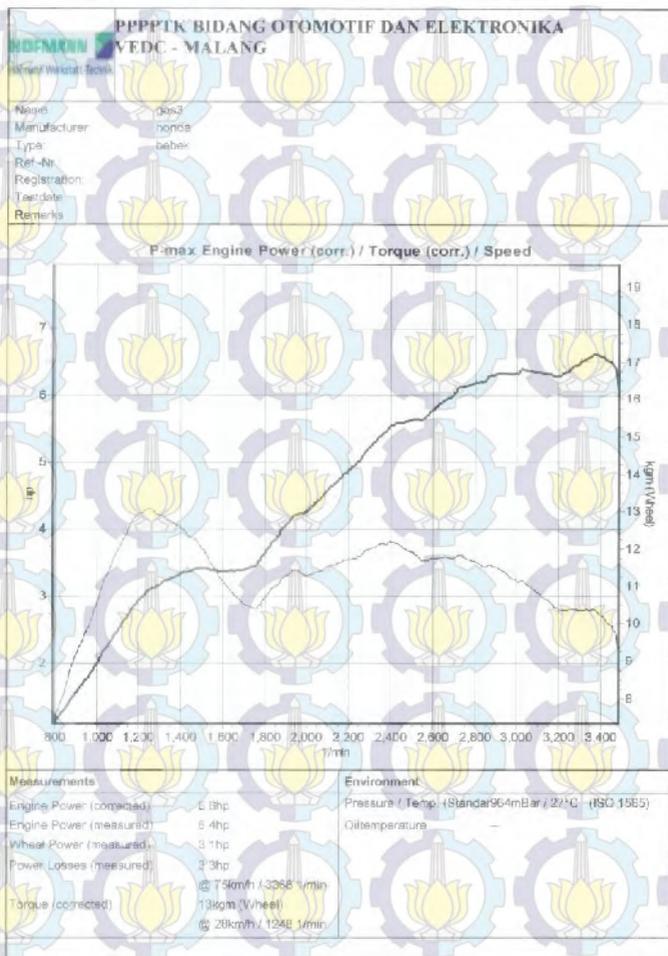
Lampiran E (lanjutan)



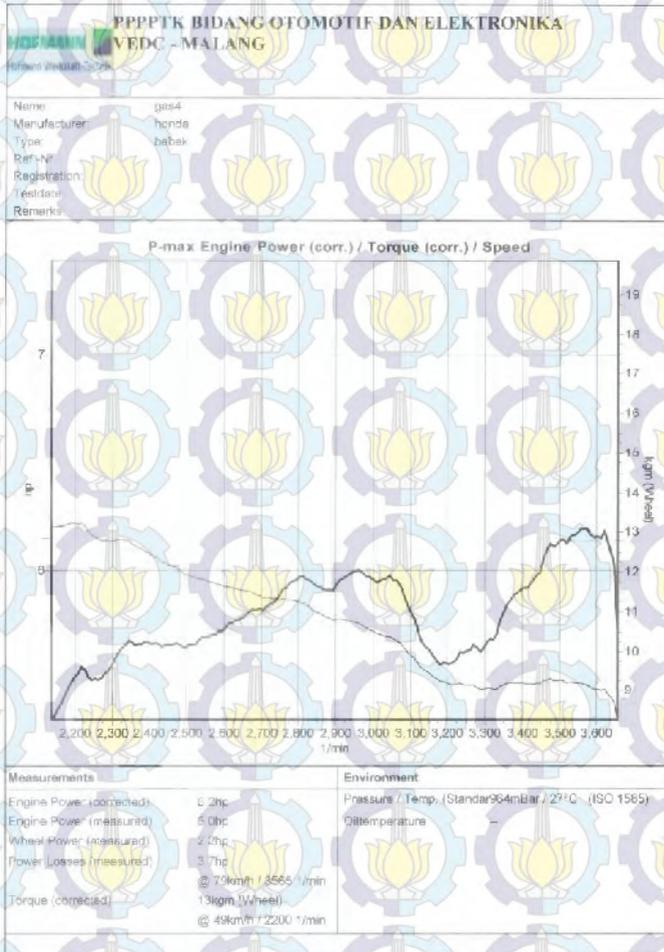
Lampiran E(lanjutan)



Lampiran E(lanjutan)



Lampiran E (lanjutan)



Lampiran B

