



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN VENTURI  
MIXER 12 LUBANG MENYILANG BLUFF BODY SILINDER  
DIAMETER 11 MM DENGAN VARIASI DIAMETER**

**SKRIPSI**

**EDWARD HARRISON**

**0405020278**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN VENTURI  
MIXER 12 LUBANG MENYILANG BLUFF BODY SILINDER  
DIAMETER 11 MM DENGAN VARIASI DIAMETER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**EDWARD HARRISON**

**0405020278**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

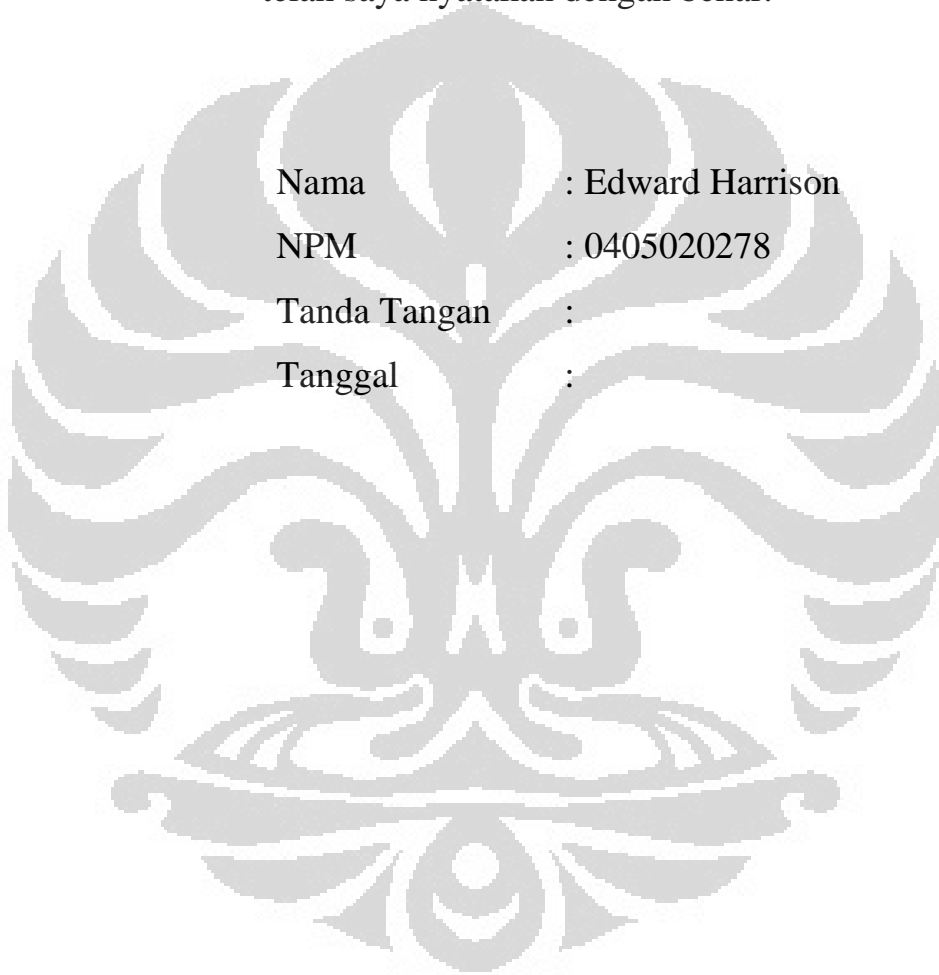
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Edward Harrison

NPM : 0405020278

Tanda Tangan :

Tanggal :



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Edward Harrison  
NPM : 0405020278  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Penggunaan Venturi Mixer  
12 Lubang Menyalang Bluff Body Silinder Diameter  
11 mm dengan Variasi Diameter

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng. ( )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D ( )  
Penguji : Dr. Ir. Danardono A. S ( )  
Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) **Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) **Dosen-Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI** yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
- (3) Pihak **Khatulistiwa Suryanusa Motor** yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Orang tua saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (5) **Clara**, orang yang memberi semangat dan dukungan dalam hidup saya;
- (6) **Ariezky**, partner skripsi yang telah bersama dalam menyelesaikan skripsi;
- (7) Teman-teman Mesin angkatan 2005 dan semua yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2009

Edward Harrison

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edward Harrison  
NPM : 0405020278  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN VENTURI MIXER 12  
LUBANG MENYILANG BLUFF BODY SILINDER DIAMETER 11 MM  
DENGAN VARIASI DIAMETER**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Desember 2009

Yang menyatakan

(Edward Harrison)

## ABSTRAK

Nama : Edward Harrison

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisis Perbandingan Penggunaan Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang *Bluff Body* Silinder Diameter 11 mm Dengan Variasi Diameter Lainnya

Untuk mendapatkan karakteristik sepeda motor yang sesuai dengan kebutuhan dapat dilakukan dengan cara modifikasi. Modifikasi yang dilakukan bertujuan untuk meningkatkan performa mesin dengan meningkatkan daya mesin dan mengurangi penggunaan bahan bakar. Merujuk pada skripsi sebelumnya, salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penambahan LPG (*Liquified Petroleum Gas*) pada sistem pemasukan bahan bakar sepeda motor 4-langkah berbahan bakar premium (oktan 88). Penambahan LPG pada sistem bahan bakar mampu meningkatkan performa mesin, seperti yang terlihat pada hasil pengujian dengan alat dinamometer. Penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan melakukan pengujian dengan metode uji jalan berdasarkan SNI 09-4405-1997 (cara uji unjuk kerja jalan sepeda motor) dan SNI 09-1400-1995 (cara uji percepatan sepeda motor roda dua) juga membuktikan bahwa penambahan LPG mampu meningkatkan percepatan maupun mengurangi konsumsi bahan bakar bensin.

Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan hal tersebut dengan cara menggunakan sepeda motor uji yang lebih baru berbahan bakar pertamax (oktan 91) serta dilakukan perubahan mekanisme pencampuran antara LPG (propana 4,58% dan butana 83,14%) dan udara sebelum masuk ke dalam karburator dan melakukan pengujian jalan dengan mekanisme baru sesuai SNI. Mekanisme sebelumnya menggunakan mekanisme campuran dengan *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan berbagai variasi bentuk *bluff body*. Saat ini akan dikembangkan dengan menggunakan metode pencampuran yang lebih baik

menggunakan *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan bentuk *bluff body* silinder dengan berbagai variasi diameter yang didapatkan dengan menggunakan software *Cosmos Flow* dan dengan penggunaan LPG (propana 10,6% dan butana 78,16%). Tujuannya adalah untuk menciptakan campuran yang lebih homogen dibandingkan *venturi mixer bluff body* bertingkat, datar dan tegak.

Analisis yang dilakukan adalah dengan melakukan perbandingan antara daya mesin yang dihasilkan serta emisi sepeda motor tanpa penambahan LPG dengan penambahan LPG dengan menggunakan *venturi mixer*. Perubahan ini membawa hasil yang lebih positif: pada *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm, daya mesin yang dihasilkan mampu ditingkatkan secara maksimal pada bukaan katup 360°. Secara umum, daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG dengan konsumsi bahan bakar bensin yang lebih rendah dan konsentrasi gas buang yang lebih rendah.

Kata Kunci : Modifikasi, Bahan Bakar, Sepeda Motor, *Venturi Mixer*, *Cosmos Flow*, *Bluff Body*



## ABSTRACT

Name : Edward Harrison

Study Program: Mechanical Engineering

Judul : Analysis of Using 12 Crossing-Holes *Venturi Mixer* With Cylinder in 11 mm Diameter *Bluff Body* Compare With Another Diameter Variation

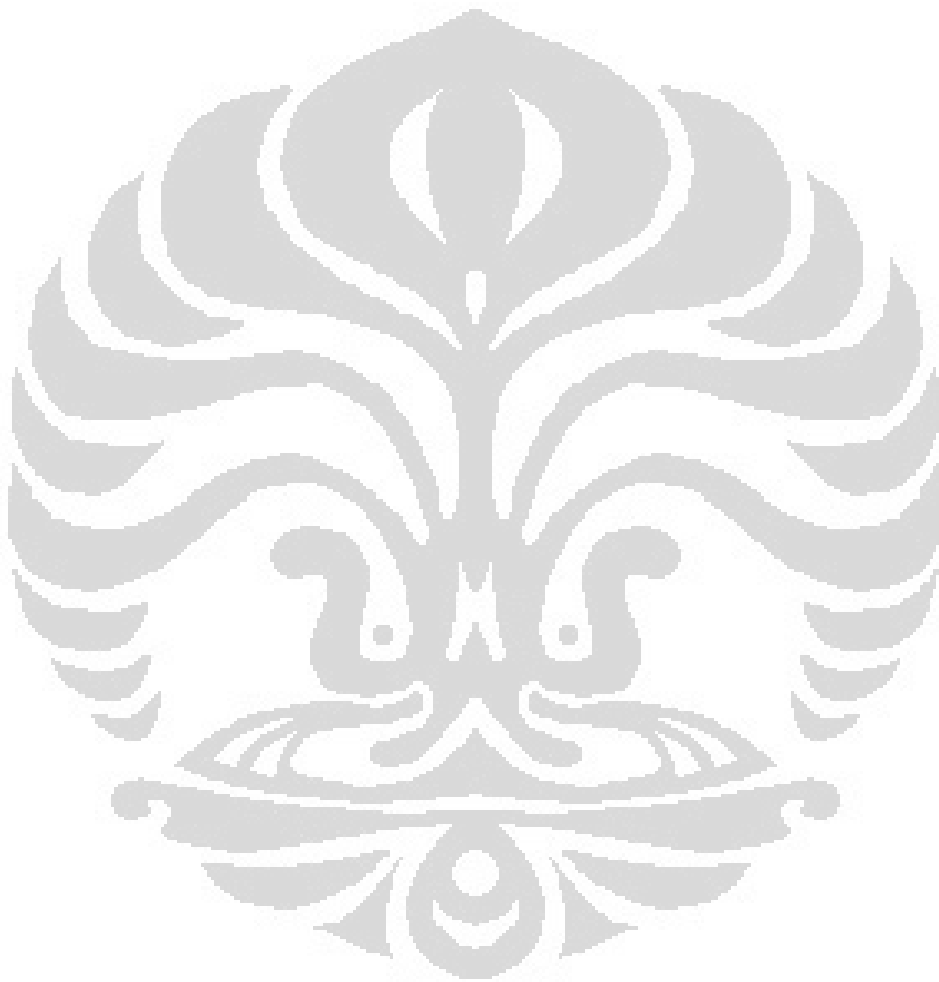
One of alternative ways to obtain motorcycle characteristic that is appropriate with our necessity is modification. The purpose of modification is to increase engine performance. By referencing to the prior thesis, one of modification that can be done is by adding LPG (Liquified Petroleum Gas) to 4-stroke motorcycle fuel intake system with octane number fuel 88. LPG addition to combustion system can increase engine performance, as seen on the dynamometer testing. The last research that is done by doing an experiment with road test method based on SNI road test also proves that LPG addition is able to increase acceleration as well as lower fuel consumption.

Therefore, another research is done to optimize LPG addition using a new motorcycle with higher octane number fuel (octane 91) and by changing the mixing mechanism between LPG (propane 4,58% and butane 83,14 %) and air before flowing into carburetor and do another road test based on SNI with the new mechanism. Previous mechanism is using mixing mechanism with *venturi mixer* with variation *bluff body*, now it will be developed with mixing method using *venturi mixer* 12 crossed-holes with cylinder *bluff body* and using LPG (Propane 10,6% and Butane 78,16%). The purpose is to create a homogenous mix. Cosmos Flow is used to see the mixing flow.

Analysis that is done is by making comparisons between the power of motorcycle and also the emission without LPG addition and with LPG addition by using *venturi mixer*. This alteration makes a more positive effect: by using *venturi mixer* 12 crossed-holes with Cylinder in 11 mm Diameter *Bluff Body* the power of motorcycle can be increased maximally when the valve open at 360°. Generally,

the power of the motorcycle is bigger comparing with the usage without LPG addition with less consumption of gasoline use and less emission concentrate.

Key Word : Modification, Fuel, Motorcycle, *Venturi mixer*, Cosmos Flow, *Bluff Body*



## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
<b>BAB 1</b>	
pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Pencampuran .....	4
<b>BAB</b>	<b>2</b>
<b>DASAR TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Motor OTTO.....	6
2.2 Paramaeter Prestasi Mesin .....	11
2.3 Pembakaran dan Emisi pada Motor Otto .....	13
2.4 Terbentuknya Polutan pada Aliran Gas Buang.....	13
2.4.1 Karbon Monoksida (CO) .....	14
2.4.2 Hidrokarbon (HC).....	14
2.4.3 Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> ).....	15
2.4.4 Udara Berlebih (Excess Air).....	15
2.5 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR CAIR LPG .....	16
2.5.1 Butana .....	17
2.5.2 Propana .....	18
2.6 PENGARUH ALIRAN LPG SEBAGAI PENAMBAH TENAGA ...	19

2.6.1	Perbandingan Udara Bahan Bakar ( A/F ) atau AFR.....	20
2.7	MIXER.....	21
2.8	TEORI PENCAMPURAN.....	23
2.8.1	Pencampuran Gas.....	23
2.8.2	Hukum Dalton untuk Pencampuran Gas Ideal: Penambahan Tekanan Parsial .....	26
2.9	Dinamometer Dynodynamics .....	28
2.9.1	Perhitungan Yang Berhubungan Dengan Inersia Chassis Dinamometer .	28
2.9.2	Pengukuran Tenaga Mesin.....	29
2.9.3	Cara Kerja Inersia pada Dinamometer Jenis Rolling Road .....	31
2.10	Simulasi PENCAMPURAN GAS .....	32
2.10.1	Analisis <i>Venturi Mixer Bluff Body</i> Silinder .....	32
2.11	GAMBAR HASIL DESAIN <i>VENTURI MIXER</i> BERDASARKAN COSMOS FLOW .....	39
BAB		3
METODOLOGI PENELITIAN.....		42
3.1	Proses Pengerjaan Sistem Pemasukan Gas .....	42
3.2	INSTALASI ALAT UJI.....	43
3.3	Persiapan Pengujian .....	49
3.4	Prosedur Pengambilan Data .....	52
3.4.1	Pengambilan data dengan Dynamometer.....	52
3.4.2	Pengambilan data analisis gas buang .....	54
3.4.3	Prosedur Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar .....	55
3.4.4	Prosedur Pengambilan Data Percepatan Sepeda Motor .....	58
BAB		4
PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA .....		60
4.1	Perhitungan KONSUMSI LPG .....	60
4.2	Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar .....	63
4.3	Perhitungan Laju Aliran Massa Campuran Bahan Bakar .....	67
4.4	Perhitungan akselerasi .....	75
BAB		5
ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		78

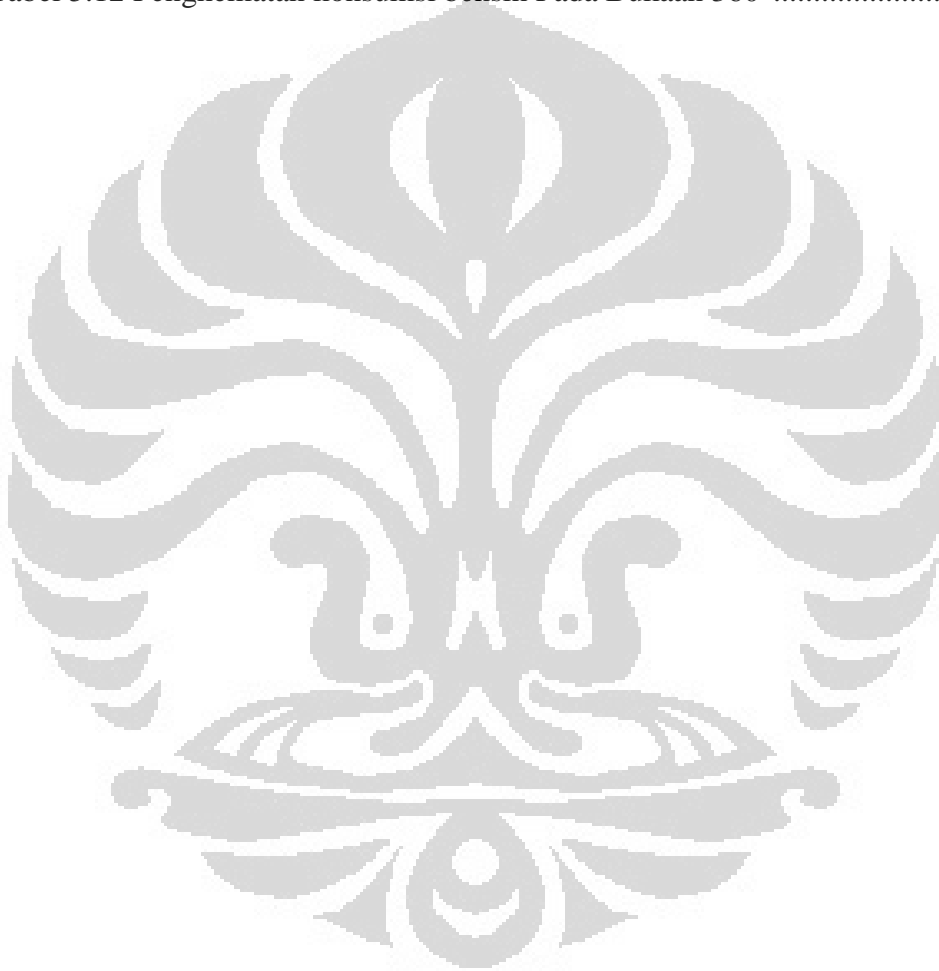
5. 1 ANALISIS PRESTASI MESIN .....	78
5.1.1 Analisis Perbandingan BHP .....	78
5. 2 Analisis Emisi Gas Buang .....	85
5.2.1 Analisis kadar CO <sub>2</sub> (Karbon Dioksida) .....	85
5.2.2 Analisis kadar CO (Karbon Monoksida) .....	86
5.2.3 Analisis Kadar HC (Hidro Carbon) .....	88
5.2.4 Analisis kadar O <sub>2</sub> (Oksigen).....	89
5. 3 ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR .....	90
5.3.1. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Bensin .....	91
5.3.2. Analisa Konsumsi LPG.....	97
BAB .....	6
KESIMPULAN DAN SARAN.....	106
6.1 KESIMPULAN.....	106
6.2 SARAN .....	107
DAFTAR ACUAN .....	108
DAFTAR LAMPIRAN.....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Butana.....	18
Tabel 2.2 Sifat Propana.....	19
Tabel 4.1. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	60
Tabel 4.2. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	61
Tabel 4.3. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	61
Tabel 4.4. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	61
Tabel 4.5. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	62
Tabel 4.6. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	62
Tabel 4.7. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	62
Tabel 4.8. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	63
Tabel 4.9. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	63
Tabel 4.10. Konsumsi Bahan Bakar Tanpa Campuran LPG .....	64
Tabel 4.11. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	64
Tabel 4.12. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	64
Tabel 4.13. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm.....	65

Tabel 4.14. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	65
Tabel 4.15. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	65
Tabel 4.16. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 11mm.....	66
Tabel 4.17. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	66
Tabel 4.18. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	66
Tabel 4.19. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder 13mm.....	67
Tabel 4.20. BHP Tanpa LPG .....	68
Tabel 4.21. BHP Penambahan LPG Bukaannya Katup 180° (Tanpa <i>Bluff Body</i> , <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Datar) .....	68
Tabel 4.22. BHP Penambahan LPG Bukaannya Katup 270° (Tanpa <i>Bluff Body</i> , <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Datar) .....	70
Tabel 4.23. BHP Penambahan LPG Bukaannya Katup 360° (Tanpa <i>Bluff Body</i> , <i>Bluff Body</i> Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Bertingkat) .....	71
Tabel 4.24. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaannya Katup 180° .....	76
Tabel 4.25. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaannya Katup 270° .....	76
Tabel 4.26. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaannya Katup 360° .....	77
Tabel 5.1. Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaannya 180° .....	91
Tabel 5.2 Perubahan Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada bukaannya 180° .....	92
Tabel 5.3 Tabel Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaannya 270° .....	93
Tabel 5.4 Tabel Perubahan Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaannya 270° .....	95

Tabel 5.5 Tabel konsumsi bahan bakar bensin pada Bukaan 360° .....	95
Tabel 5.6 Tabel perubahan konsumsi bahan bakar bensin pada Bukaan 360° .....	97
Tabel 5.7 Tabel konsumsi LPG pada Bukaan 180° .....	97
Tabel 5.8 Penghematan konsumsi bensin pada Bukaan 180° .....	100
Tabel 5.9 Tabel konsumsi LPG pada Bukaan 270° .....	100
Tabel 5.10 Penghematan konsumsi bensin pada Bukaan 270° .....	102
Tabel 5.11 Tabel konsumsi LPG Venturi pada bukaan 360° .....	103
Tabel 5.12 Penghematan konsumsi bensin Pada Bukaan 360° .....	105





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Kerja Motor Otto Empat Langkah.....	8
Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S Ideal Motor Otto Empat Langkah.....	9
Gambar 2.3. Venturi .....	22
Gambar 2.4. Hukum Dalton.....	27
Gambar 2.5. Penyebaran Spesies <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	33
Gambar 2.6. Analisis Tekanan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	33
Gambar 2.7. Analisis Temperatur <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	34
Gambar 2.8. Vektor Kecepatan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	34
Gambar 2.9. Penyebaran Spesies <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	35
Gambar 2.10. Analisis Tekanan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	35
Gambar 2.11. Analisis Temperatur <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	36
Gambar 2.12. Vektor Kecepatan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	36
Gambar 2.13. Penyebaran Spesies <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 13 mm pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	37
Gambar 2.14. Analisis Tekanan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	37
Gambar 2.15. Analisis Temperatur <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	38
Gambar 2.16. Vektor Kecepatan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi <i>Cosmos Flow</i> .....	38
Gambar 2.17. <i>Venturi Mixer</i> 12 Lubang Menyilang Dengan <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9mm (atas), 11mm (tengah), dan 13mm (bawah).....	39

Gambar 2.18. <i>Venturi Mixer</i> 12 Lubang Menyilang <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9mm (atas), 11mm (tengah), dan 13mm (bawah) Dengan Penutup .....	40
Gambar 2.19 <i>Venturi Mixer</i> 12 Lubang Menyilang <i>Bluff Body</i> Silinder Diameter 9mm (kiri), 11mm (kanan), dan 13mm (atas) Dengan Penutup (Hasil Proses Manufaktur) .....	41
Gambar 3.1. (a) Sistem penyaluran gas LPG model lama, (b) Penempatan sistem penyaluran gas LPG pada sepeda motor model baru ( <i>venturi mixer</i> ).....	43
Gambar 3.2. (a) Kompor Gas Portabel, (b) <i>Venturi mixer</i> , (c) Katup Penghubung .....	45
Gambar 3.3. <i>Lowboy chassis AWD</i> .....	47
Gambar 3.4. Skema Pencampuran Bahan Bakar .....	49
Gambar 3.5. Pengikatan motor dan penempatan diatas <i>roller</i> .....	50
Gambar 3.6. <i>gas analyzer</i> .....	50
Gambar 3.7. Proses Pengambilan Data Dengan Dynamometer.....	54
Gambar 3.8. Pengukuran Massa Gas .....	56
Gambar 3.9. Pengujian.....	58
Gambar 3.10. Skema Pengujian Percepatan .....	59

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
AFR	Perbandingan massa udara – bahan bakar	
$AF_s$	Perbandingan massa udara–bahan bakar (isooktana) stoikiometris	
M	Berat molekul	gr/mol
N	Jumlah molekul	mol <sup>-1</sup>
$Q_{in}$	Kalor masuk	Joule
$Q_{HV}$	Nilai kalor pembakaran bahan bakar	kJ/kg
R	Konstanta gas ideal	
T	Temperatur	K
V	Volume	m <sup>3</sup>
a	Akselerasi	m/s <sup>2</sup>
c	Fraksi massa	
g	Percepatan gravitasi	m/s <sup>2</sup>
k	Konstanta Boltzmann	J K <sup>-1</sup>
m	Massa	kg
$\dot{m}_f$	Laju aliran massa bahan bakar	kg/s
n	densitas jumlah partikel	mol <sup>-3</sup>
$1\text{m}^{-3}$		
p	Tekanan	bar
t	Waktu	s
y	Fraksi mol	
$\mu_H$	Massa satu atom hidrogen	kg
$\rho$	Massa jenis	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	Massa jenis bahan bakar	kg/m <sup>3</sup>
$Q_{in}$	Kalor masuk	Joule
$Q_{HV}$	Nilai kalor pembakaran bahan bakar	kJ/kg
BFC	<i>Brake Fuel Consumption</i>	l/h
$\dot{m}_f$	Laju aliran massa bahan bakar	kg/s

$V_f$	Volume bahan bakar	cc
$t$	Waktu	s
$T$	Torsi	N.m
$F$	Gaya pembebanan	N
$\dot{m}_a$	Laju aliran massa udara	kg/s
$\dot{m}_i$	Laju aliran massa yang melewati intake	kg/s
$\dot{m}_{LPG}$	Laju aliran massa LPG	kg/s
$L$	Lengan brake	m
BHP	Daya mesin yang terukur pada brake	HP
BSFC	Konsumsi bahan bakar spesifik	gr/hp.h
$\rho_f$	Massa jenis bahan bakar	kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$	Lambda	
$\Phi$	Rasio ekivalensi	

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Pengoptimalan sumber daya potensial yang ada di lingkungan sekitar masih terus digalakkan untuk lebih mengembangkan teknologi di Indonesia, tak terkecuali dalam dunia otomotif. Variasi kebutuhan yang diinginkan oleh para pemilik kendaraan bermotor menyebabkan terus dilakukannya aktivitas modifikasi untuk mendapatkan performa kendaraan yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Salah satu kendaraan bermotor yang sering mengalami modifikasi adalah sepeda motor. Modifikasi sepeda motor berkembang semakin pesat sekarang ini seiring dengan makin tingginya minat para pemilik kendaraan tersebut untuk mendapatkan performa motor yang lebih baik. Performa motor yang lebih baik dapat dikatakan sebagai performa optimal dari motor yang dapat dihasilkan. Performa optimal dari sepeda motor yang diinginkan oleh modifikator meliputi antara lain: tenaga besar yang dihasilkan, akselerasi yang cepat, konsumsi bahan bakar yang irit, dan gas buang yang bebas polutan. Semakin meningkatnya arus teknologi yang masuk ke Indonesia menjadi salah satu faktor dari sekian banyak faktor-faktor yang mempengaruhi pengembangan teknologi dalam kendaraan bermotor. Selain itu, faktor lainnya dapat disebabkan oleh harga bahan bakar minyak yang semakin tinggi, sehingga keinginan setiap pengendara sepeda motor akan kendaraan yang lebih hemat dan efisien selalu dinantikan. Selain itu, faktor yang sangat berpengaruh adalah permasalahan polusi udara yang semakin meningkat disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor.

Pengembangan modifikasi yang sekarang ini cukup banyak diterapkan adalah penggunaan sistem NOS (*Nitrous Oxide System*) yang terintegrasi dengan sistem bahan bakar yang telah terbukti mampu meningkatkan performa mesin menjadi lebih baik dibandingkan keadaan standar, hanya saja perangkat ini memiliki kekurangan yaitu biaya pemasangan dan penggunaannya yang sangat mahal dan hanya cocok diaplikasikan untuk motor balap atau hanya sekedar untuk

aksesoris semata. Tetapi sekarang ini sudah berkembang modifikasi alternatif yang mengadopsi sistem NOS, yakni pengaplikasian sistem penambahan LPG (*Liquid Potreleoum Gas*) pada ruang bakar yang tentunya lebih murah jika dibandingkan dengan  $N_2O$  (*Nitro Oxide*). Karena memiliki perangkat serta cara pemasangannya yang cenderung mudah dan tidak memerlukan biaya yang besar, aplikasi ini cocok untuk dimanfaatkan bagi para pemilik sepeda motor untuk digunakan dalam keperluan sehari-hari.

Sebenarnya sudah cukup banyak penelitian mengenai penambahan LPG pada motor bakar. Secara teori penambahan gas pada bahan bakar bensin akan membantu proses pembakaran di ruang bakar agar mendekati sempurna. Hal ini dikarenakan karakteristik dari gas cair yang lebih mudah menguap dalam kondisi tekanan atmosfer sehingga terbakar lebih cepat dari pada bensin.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, yang melakukan penelitian pada nilai-nilai yang menjadi parameter kualitas kendaraan bermotor, seperti *fuel consumption*, daya, akselerasi, dan kualitas emisi gas buang, dilakukan dengan melakukan pengujian menggunakan metode uji jalan kendaraan bermotor dan uji akselerasi terhadap performa motor satu silinder 4 langkah, yang menggunakan bahan bakar dengan tambahan LPG dengan berbagai macam tipe alat pencampur udara dengan gas, serta melakukan pengembangan dalam hal mekanisme pemasukan LPG yang efisien dan sederhana sehingga dapat diterapkan oleh para pemilik sepeda motor.

Hasil dari penelitian sebelumnya telah didapat bahwa dengan adanya venturi *mixer* dalam sistem pencampuran LPG dan udara pada ruang bakar bisa meningkatkan kualitas prestasi mesin sepeda motor terutama peningkatan akselerasi yang dihasilkan, dan juga perbaikan emisi gas buang dari kendaraan. Fenomena seperti yang telah disebutkan diatas telah dibuktikan di lapangan dengan menggunakan metode uji jalan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap percepatan dan konsumsi bahan bakar.

Pada penelitian sebelumnya, penelitian dilakukan dengan menggunakan sepeda motor Suzuki Thunder 125cc 4 langkah, yang menggunakan bahan bakar pertamax (oktan 91) dengan tambahan LPG (Propana 4,58% dan Butana 83,14%) dengan berbagai macam tipe *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan

penambahan *bluff body* dengan bentuk yang bervariasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan sepeda motor yang sama, penggunaan LPG (Propana 10,6% dan Butana 78,16%) dan penggunaan *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan *bluff body bentuk silinder* dengan diameter yang bervariasi.

## **1.2 TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan untuk melakukan perbandingan nilai prestasi mesin sepeda motor Suzuki Thunder 125cc 4 langkah berbahan bakar pertamax (oktan 91) yang meliputi horse power, torsi, *Air Fuel Ratio* (AFR), fuel consumption serta kadar polutan dalam gas buang (CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, HC) yang dihasilkan antara mesin tanpa penambahan LPG dan mesin yang menggunakan *venturi mixer* dalam mekanisme pencampuran LPG dan udara. Selain itu penelitian ini juga dilakukan untuk melihat konsistensi hasil dari penelitian sebelumnya dengan hasil penelitian yang dilakukan saat ini dengan menggunakan metode uji jalan secara langsung. Beberapa pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi pengujian, yaitu variasi bukaan katup regulator kompor LPG, variasi putaran mesin, serta metode pembebanan dinamometer dan variasi diameter pada *bluff body* silinder yang terdapat pada *venturi mixer* 12 lubang menyilang.

## **1.3 PEMBATASAN MASALAH**

Adapun pembatasan masalah yang penulis tentukan agar penelitian ini bersifat terarah dan fokus pada bahasannya adalah:

- Pembahasan dilakukan pada hal-hal yang berkaitan dengan motor bensin 4 langkah dan sistem pengaplikasian gas LPG pada sistem bahan bakar untuk mengetahui tingkat konsumsi, prestasi mesin, dan kualitas emisi yang dihasilkan.
- Parameter-parameter yang diamati saat penelitian hanyalah pada konsumsi bahan bakar dan rasio campuran bahan bakar—udara, parameter prestasi mesin berupa daya keluaran, akselerasi dan konsumsi bahan bakar spesifik, serta kandungan emisi gas buang (HC, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>).

- Pengujian dilakukan dilakukan dengan menggunakan motor bensin 4 langkah yang dilengkapi dengan sistem saluran penambahan LPG dengan bahan bakar utama adalah bensin pertamax (oktan 91).
- Variasi besarnya bukaan katup regulator kompor sebesar 180°, 270° dan 360°.
- Variasi diameter *bluff body* silinder pada *venturi mixer* 12 lubang menyilang yaitu, 9 mm, 11 mm, dan 13 mm.

#### 1.4 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

- Memilih subjek penelitian.
- Melakukan studi literatur.
- Melakukan instalasi alat uji.
- Melakukan eksperimen pengujian unjuk kerja jalan sepeda motor.
- Melakukan eksperimen pengujian prestasi mesin.
- Melakukan eksperimen pengujian akselerasi sepeda motor.
- Melakukan eksperimen pengujian gas buang.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh dalam bentuk grafik dan menganalisisnya.
- Membuat kesimpulan.

#### 1.5 SISTEMATIKA PENCAMPURAN

Skripsi ini disusun dalam urutan sebagai berikut :

##### BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan dilakukannya penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

##### BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang konsep motor pembakaran dalam empat langkah, parameter prestasi mesin, gas buang kendaraan bermotor, karakteristik bahan bakar cair LPG, langkah-langkah pemasangan gas LPG pada motor bakar satu silinder empat langkah, penjelasan mengenai *chasis dynamometer*



*dynodynamics*, penjelasan mengenai kelebihan dari penambahan *bluff body* silinder pada *venturi mixer* 12 lubang menyilang, serta simulasi pencampuran LPG dan udara pada *venturi mixer*.

### BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini memaparkan urutan proses instalasi alat uji, persiapan pengujian, tahap pengujian, serta prosedur pengambilan data.

### BAB IV : PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari percobaan, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil dari pengujian. Hasil pengolahan akan ditampilkan dalam bentuk tabel terpadu.

### BAB V : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis hasil pengujian yang telah dilakukan dan disajikan adalah dalam bentuk tabel dan grafik.

### BAB VI : KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari pengujian sepeda motor silinder 125 cc 4 langkah yang telah dipasangkan *venturi mixer* dengan tambahan *bluff body* bentuk silinder sebagai suatu mekanisme pencampuran untuk penambahan gas LPG pada sistem pembakarannya.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 MOTOR OTTO

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak, dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalan campuran bahan bakar—udara, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam melakukan proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor *Otto* merupakan motor pembakaran dalam karena motor *Otto* melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor *Otto* dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar—udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar—udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus *Otto* dengan mempergunakan bahan bakar bensin.

## Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor *Otto* adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

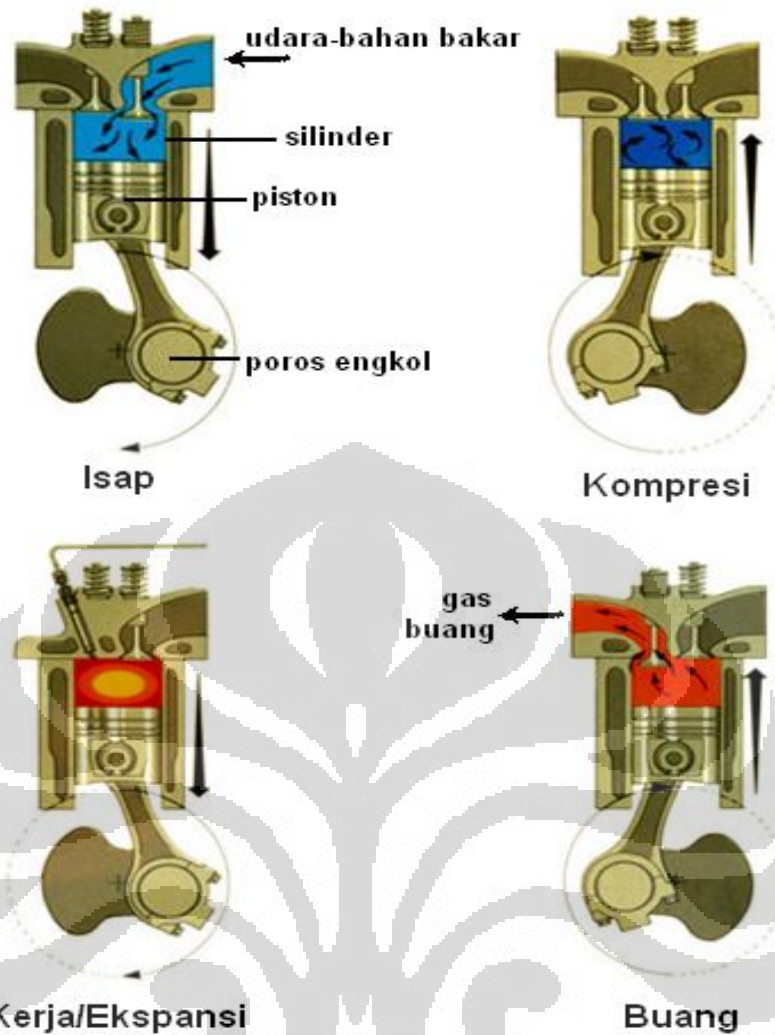
3. Torak

Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

Busi adalah komponen listrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Bawah (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.

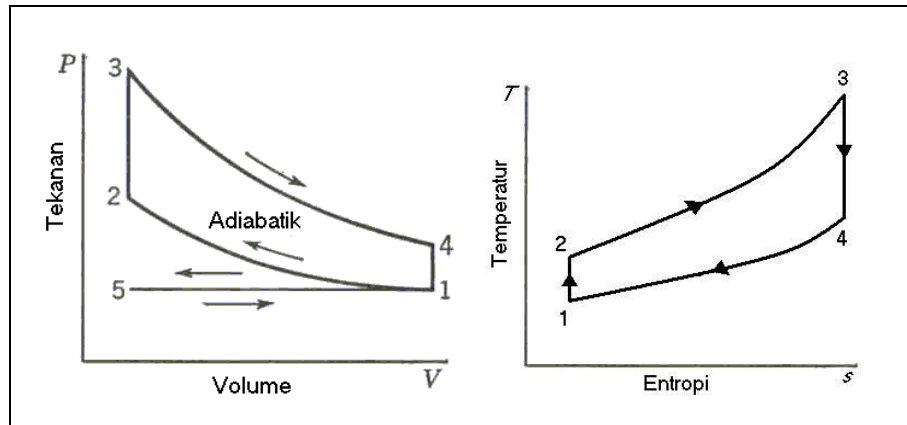


**Gambar 2.1. Proses Kerja Motor Otto Empat Langkah**

Sumber : <http://www.bankspower.com>

Pada motor *Otto* 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (*flywheel*).

Siklus kerja motor *Otto* dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volume) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisis terhadap karakteristik internal motor *Otto*.



**Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S Ideal Motor Otto Empat Langkah**

Sumber : <http://www.bankspower.com>

Langkah-langkah pada mesin *Otto* 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.1. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Isap (*intake*)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Pembakaran (*combustion*)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja/ekspansi (*expansion/power*)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin *Otto*. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Langkah buang (*exhaust*)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Berdasarkan gambar 2.2. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

$$q_{1-2} = 0 \text{ dan } w_{1-2} = c_v (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan :

$$\begin{aligned} w_{2-3} &= 0 \\ Q_{2-3} &= Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c \text{ atau} \\ &= m_m c_v (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_v (T_3 - T_2) \\ q_{2-3} &= c_v (T_3 - T_2) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan :

$$\begin{aligned} q_{3-4} &= 0 \\ w_{3-4} &= c_v (T_3 - T_4) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan :

$$\begin{aligned} w_{4-1} &= 0 \\ q_{4-1} &= q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dari perhitungan didapat :

$$w_{net} = w_{3-4} + w_{1-2} = q_{in} - q_{out} \quad (2.5)$$

besarnya efisiensi termal :

$$\eta_{th} = w_{net} / q_{in} = 1 - (q_{out} / q_{in}) \quad (2.6)$$

Nilai efisiensi diatas hanya merupakan nilai *indicated* dari nilai perhitungan termodinamikanya.

## 2.2 PARAMETER PRESTASI MESIN

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar torak dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan bahan bakar—udara, daya keluaran. Berikut ditampilkan rumus-rumus dari beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan unjuk kerja motor bakar torak:

### Konsumsi Bahan Bakar / Fuel Consumption (FC)

$$BFC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$V_f$  = konsumsi bahan bakar selama  $t$  detik (mL)

$t$  = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

### Laju Aliran massa Bahan Bakar ( $\dot{m}_f$ )

$$\dot{m}_f = \frac{BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\dot{m}_f$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### Laju aliran massa Udara ( $\dot{m}_a$ )

$$\dot{m}_a = \frac{AFR \cdot BFC \cdot \rho_f}{3600 \cdot 1000} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$AFR$  = rasio massa udara—bahan bakar (kg udara / kg bahan bakar)

$\dot{m}_a$  = laju aliran massa udara (kg/s)

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>), dalam hal ini adalah bensin = 754,2 kg/m<sup>3</sup>

### **Torsi (T)**

$$T = F \cdot r \quad (2.10)$$

Keterangan :

$T$  = torsi keluaran mesin ( $FlLbs$ )

$F$  = pembebanan mesin ( $Lbs$ )

$r$  = panjang lengan torsi ( $ft$ )

### **Daya Keluaran / Brake Horse Power (BHP)**

Satuan daya keluaran yang digunakan dalam perhitungan bukan merupakan satuan *British unit* karena hasil yang didapatkan pada pengukuran dengan menggunakan dynamometer menggunakan pengukuran *British unit*.

$$BHP = \frac{Torsi(ft/lbs) \cdot rpm}{5252} \quad (2.11)$$

Keterangan :

$BHP$  = daya keluaran mesin (hp)

$T$  = torsi keluaran mesin ( $FlLbs$ )

$rpm$  = putaran mesin / N

### **Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)**

$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \cdot \rho_f \quad (2.12)$$

Keterangan :

$BSFC$  = konsumsi bahan bakar spesifik (gr/hp.h)

$BFC$  = konsumsi bahan bakar (l/h)

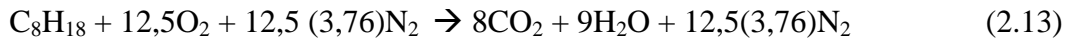
$BHP$  = daya keluaran mesin (hp)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)



### 2.3 PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MOTOR OTTO

Bahan bakar yang digunakan pada Motor Pembakaran Dalam – jenis *Otto* biasanya sejenis Hidro Karbon (HC). Dengan menganggap bahwa bahan bakar yang digunakan adalah *isooctane* maka reaksi pembakaran yang terjadi sebagai berikut :



Nilai 3,76 di dapat dari perbandingan % vol  $\text{N}_2$  dengan % vol  $\text{O}_2$  pada udara bebas yaitu  $79\% / 21\% = 3,76$  dengan menganggap gas lainnya seperti argon,  $\text{CO}_2$  dan lainnya sangat kecil.

Reaksi pembakaran tersebut terjadi di dalam ruang bakar pada tekanan dan suhu yang tinggi. Motor Bakar Dalam yang baik mempunyai komposisi gas buang berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  seperti reaksi diatas,namun adakalanya terjadi pembakaran yang kurang sempurna sehingga akan menghasilkan emisi gas berupa CO, HC, Gas tersebut juga bersifat beracun. Agar dapat terjadi pembakaran yang sempurna diperlukan perbandingan yang tepat antara massa bahan-bakar / massa udara (AFR). Jika reaksi tersebut diatas terjadi sempurna maka perbandingannya :

Massa bahan bakar ( $m_f$ ) adalah  $1 \text{ kmol} (114 \text{ kg/kmol}) = 114 \text{ kg}$

Massa udara ( $m_a$ ) adalah  $12,5 ( 4,76) \text{ kmol} (29 \text{ kg/kmol}) = 1725,5 \text{ kg}$  , sehingga AFR untuk reaksi tersebut

$$\text{AFR} = m_a / m_f = 1725,5 / 114 = 15,13 \quad (2.14)$$

Nilai perbandingan inilah yang nantinya dipakai pada lembar data untuk nilai AFR stoikiometrinya.

### 2.4 TERBENTUKNYA POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida ( $\text{SO}_x$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon ( $\text{O}_3$ ) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

### 2.4.1 KARBON MONOKSIDA (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat. Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>. Pada beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi.

Untuk menurunkan emisi CO dapat dilakukan dengan menjalankan mesin dengan campuran kurus yang menyebabkan hilangnya tenaga atau dengan cara menambahkan alat pada knalpot untuk mengoksidasi CO yang dihasilkan mesin. Secara teoritis, kadar CO pada gas buang dapat dihilangkan dengan menggunakan AFR lebih besar dari 16:1. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat *idle* dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

### 2.4.2 HIDROKARBON (HC)

Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid. Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah *wall quenching* yang diamati pada saat api menjalar kearah dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga *quench distance*.

Besarnya *quench distance* ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperature campuran, tekanan, AFR, temperatur permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon didalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

### 2.4.3 NITROGEN OKSIDA (NO<sub>x</sub>)

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor di bedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>3</sub>) dan peroksi asetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

Komponen utama dari NO<sub>x</sub> adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan nitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Oksida-oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) biasanya dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar gas, minyak atau batu bara. Suhu yang tinggi pada ruang bakar akan menyebabkan sebagian N<sub>2</sub> bereaksi dengan O<sub>2</sub>. Jika terdapat N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>. Komposisi NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3—4 % NO<sub>2</sub>, dan sisanya adalah N<sub>2</sub>O serta N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tidak seperti gas polutan lainnya yang mempunyai daya destruktif yang tinggi terhadap kesehatan manusia, NO merupakan gas inert dan 'hanya' bersifat racun. Sama halnya dengan CO, NO mempunyai afinitas yang tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian pemaparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Namun NO<sub>2</sub> dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

### 2.4.4 UDARA BERLEBIH (EXCESS AIR)

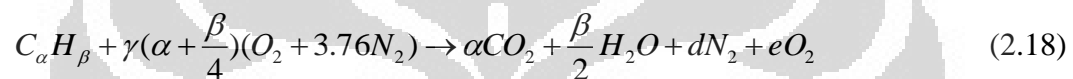
Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual di mana perlengkapan tersebut masih laik pakai.

Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk mencapai pembakaran sempurna, harus disediakan sejumlah udara yang lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terbakarnya seluruh bahan bakar yang ada secara sempurna.

$$\% \text{ udara teoritis} = \left( \frac{m_{ua}}{m_{us}} \right) 100 = \left( \frac{N_{ua}}{N_{us}} \right) 100 \quad (2.16)$$

$$\% \text{ udara lebih} = \% \text{ udara teoritis} - 100 \quad (2.17)$$

dengan udara berlebih, pembakaran terjadi pada kondisi bahan bakar yang “kurus” (*lean*). Sehingga udara berlebih (*excess air*) yang belum tereaksi muncul pada produk pembakaran.



Untuk pembakaran bahan bakar yang berwujud gas, total kebutuhan udara yang diperlukan cukup 5% di atas kebutuhan stoikiometri. Sehingga nilai  $\gamma$  adalah  $(100 + 5) \% = 1,05$

## 2.5 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR CAIR LPG

*Liquefied Petroleum Gas* atau LPG merupakan campuran dari berbagai hidrokarbon yang dikenal sebagai butana, propana, isobutana atau campuran antara butana dengan propana, sebagai hasil sampingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan atau menurunkan suhunya membuat menjadi cairan. Sifat-sifat umum LPG adalah sebagai berikut:

- Massa jenis butana dua kali lebih besar dari massa jenis udara.
- Massa jenis propana satu setengah kali lebih besar dari massa jenis udara.
- LPG tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
- LPG merupakan *solvent* yang baik terhadap karet sehingga kemasan atau tabung yang digunakan harus diperhatikan.
- LPG tidak memiliki warna, baik dalam bentuk cairan maupun dalam bentuk gas.

- LPG tidak memiliki bau. Umumnya LPG komersial ditambahkan zat yang berbau (*odor*) untuk alasan keselamatan. Zat berbau yang biasa digunakan adalah *Ethyl Mercaptane*, yang memiliki bau menyengat seperti petai.
- LPG tidak mengandung racun.
- Bila menguap di udara bebas, LPG akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga terdapat aliran gas.

Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas LPG digunakan pula sebagai bahan penekan. LPG banyak digunakan untuk hasil produksi yang berjenis *spray* seperti *deodorant*, minyak wangi *spray*, cat semprot, dan kosmetik yang digunakan dalam bentuk *spray*.

Zat berbau yang dicampurkan dengan LPG membantu agar kebocoran gas dapat diketahui. Bau yang dihasilkan sangat menusuk hidung sehingga kebocoran gas dapat ditanggulangi secepatnya.

Dalam proses pembakaran, LPG tidak menghasilkan sisa pembakaran sehingga kebersihan lingkungan sekitar dapat terjamin.

### 2.5.1 BUTANA

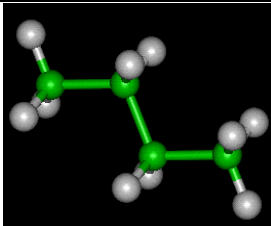
Butana, yang sering juga disebut sebagai n-butana, adalah alkana yang memiliki empat atom Karbon ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ). Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna dan mudah untuk dicairkan (*liquified gases*). Pada pembakaran dengan jumlah oksigen yang banyak, butana akan berubah menjadi karbon dioksida dan uap air. Persamaan reaksi pembakaran butana adalah:



Jika kadar oksigen yang tersedia terbatas, karbon monoksida kemungkinan akan terbentuk.

Gas butana biasanya dijual dalam bentuk LPG, dimana gas butana dicampur dengan propana dan gas-gas hidrokarbon lain. Gas butana biasa digunakan untuk keperluan rumah tangga dan perkemahan. Butana juga biasa digunakan sebagai *feedstock* untuk produksi kimia dasar dalam *steam cracking*, sebagai bahan bakar pada korek api dan sebagai propelan pada alat penyemprot. Karakteristik butana antara lain sebagai berikut:

**Tabel 2.1. Sifat Butana**

<b>Butana (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)</b>	
	
<b>Sifat</b>	
<i>Specific Gravity</i> (15°C)	0.582 ( <i>liquid</i> ), 2.01 ( <i>gas</i> )
<i>Solubility in water</i>	6.1 mg/100 ml (20 °C)
<i>Melting point</i>	-138.3 °C (134.9 K)
<i>Boiling point</i>	-0.5 °C (272.7 K)
<i>Flash point</i>	-60 °C
<i>Autoignition temperature</i>	287 °C
<i>Explosive limits</i>	1.8-8.4%
<i>Calorific value :</i>	
(MJ/m <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	112.9
(Btu/ft <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	3 030
(MJ/kg)	45.8
(Btu/lb)	19 700
<i>Mole weight</i>	58.12 kg/kmol

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

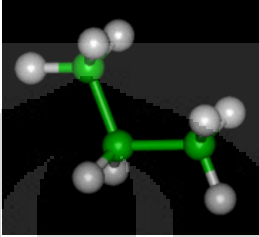
### 2.5.2 PROPANA

Propana adalah alkana yang memiliki tiga atom Karbon (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dan merupakan gas yang tidak berwarna. Propana diperoleh dari proses pemisahan gas tersebut dengan produk petroleum yang lain selama proses pengolahan minyak atau gas bumi. Propana secara umum digunakan sebagai sumber panas pada mesin, alat panggang dan perumahan. Propana dijual dalam bentuk LPG sebagai bahan bakar, yang merupakan campuran propana dengan propilen, butana, dan butilen dalam jumlah yang lebih kecil dan ditambahkan pembau. Reaksi pembakaran propana dengan udara akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan persamaan reaksi:



Karena massa jenisnya lebih besar daripada udara, propana akan jatuh dan berada di atas permukaan lantai jika dilepaskan ke udara bebas. Propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwarna putih karena mengembun. Propana memiliki karakteristik sebagai berikut:

**Tabel 2.2 Sifat Propana**

<b>Propana (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)</b>	
	
<b>Sifat</b>	
<i>Specific Gravity (15°C)</i>	0.54 ( <i>liquid</i> ), 1.5 ( <i>gas</i> )
<i>Melting point</i>	-187.6 °C (85.5 K)
<i>Boiling point</i>	-42.09 °C (231.1 K)
<i>Solubility in water</i>	0.1 g/cm <sup>3</sup> (37.8°C)
<i>Flash point</i>	-104 °C
<i>Autoignition temperature</i>	432 °C
<i>Explosive limits</i>	2.1–9.5%
<i>Calorific value :</i>	
(MJ/m <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	86.1
(Btu/ft <sup>3</sup> ) <i>dry</i>	2 310
(MJ/kg)	46.3
(Btu/lb)	19 900
<i>Mole weight</i>	44.10 kg/kmol

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## **2.6 PENGARUH ALIRAN LPG SEBAGAI PENAMBAH TENAGA**

Gas LPG yang telah dicampurkan dengan udara akan mempermudah proses pembakaran di dalam ruang bakar. Campuran udara dan gas LPG akan bercampur dengan bensin di karburator yang kemudian dibakar di ruang bakar. Campuran udara, gas LPG, dan bensin akan lebih mudah terbakar daripada

campuran yang hanya terdiri atas udara dan bensin. Hal ini disebabkan karena gas LPG yang tercampur dengan udara akan lebih dulu terbakar dibandingkan dengan bahan bakar cair yang belum sepenuhnya menguap. Pembakaran LPG yang lebih awal akan membantu terjadinya pembakaran bahan bakar minyak (bensin) yang sempurna.

Reaksi pembakaran yang sangat cepat akan mengakibatkan terjadi gangguan dalam sistem pembakaran, seperti terjadi *autoignition*, besarnya kadar bahan bakar yang tidak terbakar. Hal ini disebabkan oleh :

- Angka *Oktan* yang terlalu rendah
- Penyetelan sudut pengapian yang tidak tepat
- Busi terlalu panas
- Pendinginan terlalu miskin
- *Reignition* terhadap hasil pembakaran sebelumnya
- Kurangnya oksigen ( udara )

Oleh karena itu untuk pembakaran yang baik diperlukan keadaan:

- Angka *Oktan* yang lebih tinggi
- Jumlah campuran udara dan bensin yang tepat
- Temperatur pembakaran yang sesuai
- Waktu pembakaran yang cukup

### 2.6.1 PERBANDINGAN UDARA BAHAN BAKAR ( A/F ) ATAU AFR

Perbandingan antara massa campuran udara dan LPG serta bahan bakar , sangat berpengaruh pada kualitas pembakaran. Setiap bahan bakar memiliki standard tersendiri, berapa rasio perbandingan udara dan bahan bakar yang minimum, sehingga reaksi pembakaran dapat berlangsung secara sempurna. Rasio standard bahan bakar disebut AFR teoritis.

$$( A/F )_{\text{teoritis}} = m_{\text{udara}} / m_{\text{bahan bakar}} \quad (2.21)$$

Pada pembakaran reaksi aktual , sulit untuk mencapai  $( A/F )_{\text{teoritis}}$ , tergantung dari setingan mesin dan pengendara kendaraan bermotor dalam memacu kendaraannya.



## 2.7 MIXER

*Venturi mixer* ialah suatu konstruksi pencampuran sederhana, yaitu sebuah venturi yang diletakkan sebelum karburator. *Mixer* ini digunakan untuk mencampurkan gas dengan udara sebelum dicampur dengan bensin. Bentuk venturi akan mempengaruhi kualitas pencampuran dan jenis aliran yang dihasilkan, sehingga akan berpengaruh terhadap proses pembakaran nantinya.

Dalam perancangan *mixer* yang perlu diperhatikan ialah:

1. *Mixer* dapat menghasilkan campuran yang homogen sehingga siap untuk dibakar dalam ruang bakar mesin.
2. *Mixer* mudah dipasang pada mesin konvensional serta pemeliharaan mudah serta murah.
3. *Dual Fuel* tidak akan mengganggu kerja karburator utama.
4. *Mixer* dapat menghasilkan campuran dengan perbandingan yang tepat agar dapat menghasilkan unjuk kerja yang optimum pada berbagai kondisi

Terdapat dua jenis *mixer* dalam penelitian ini, yaitu:

### 1. Jet Fuel (Model Lama)

Model ini merupakan *mixer* sederhana. Pada *mixer* ini udara mengalir melalui saluran udara yang berbentuk venturi, tekanan udara turun sehingga terjadi kevakuman, bersamaan dengan itu gas disemburkan melalui jet fuel/nozzle. Kelemahan pada sistem ini yaitu aliran udara tertahan oleh jet fuel sehingga udara tidak mengalir sempurna dan campuran yang dihasilkan kurang homogen.

### 2. Mixer Ring

Pada *mixer* jenis ini gas masuk melalui lubang-lubang di sekeliling saluran udara. Keuntungan dengan menggunakan *mixer* jenis ini ialah aliran udara tidak terganggu oleh nozzle, dan juga lubang-lubang di sekeliling saluran udara memungkinkan tumbukan antara molekul gas dengan udara lebih banyak terjadi sehingga kemungkinan campuran yang dihasilkan untuk mencapai keadaan homogen lebih besar. Kekurangannya antara lain terdapat kemungkinan aliran tidak merata karena tekanan dan kecepatan yang mengalir ke dalam lubang *mixer* mengalami *losses* pada daerah terjauh dari inlet gas masuk.

*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.

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

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.22)$$

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

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 \quad (2.23)$$

$$P_2 = \left\{ \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \right\} + \{ g (Z_1 - Z_2) \} + P_1 \quad (2.24)$$

dimana

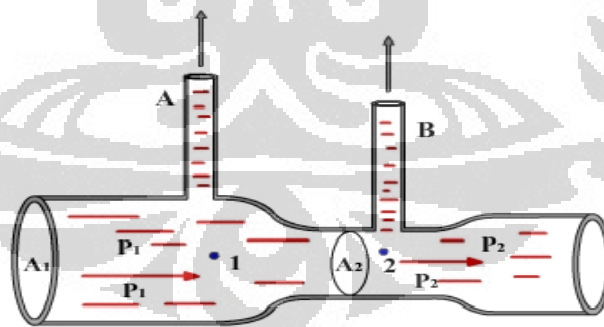
v = kecepatan fluida sepanjang aliran

g = percepatan gravitasi

h = tinggi fluida

p = tekanan sepanjang aliran

$\rho$  = massa jenis fluida



**Gambar 2.3. Venturi**

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Persamaan di atas menyatakan bahwa semakin cepat suatu fluida bergerak, semakin kecil tekanannya. Fluida yang mengalir melalui saluran pipa akan mengalami kenaikan kecepatan ketika melewati pipa yang diameternya mengecil sesuai dengan persamaan kontinuitas. Fluida yang mengalir dalam hal ini adalah

udara. Ketika kecepatan udara yang melewati pipa bertambah besar, tekanannya berkurang sehingga membuat terjadinya tekanan rendah atau kevakuman pada venturi sesuai dengan hukum kekekalan energi. Kevakuman ini membuat fluida yang lain dapat mengalir mengisi ruang vakum melalui saluran yang ada. Fluida kedua yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG.

## 2.8 TEORI PENCAMPURAN

### 2.8.1 PENCAMPURAN GAS

Banyak aplikasi termodinamika melibatkan pencampuran pada beberapa zat murni. Udara merupakan campuran antara berbagai macam gas. Bahan bakar ditambahkan ke dalam udara pada proses pembakaran yang berakibat pada terjadinya beberapa gas baru seperti karbon dioksida, uap air dan nitrogen oksida. Selain itu, sifat-sifat termodinamika dari zat-zat murni yang digunakan sebagai komponen pencampuran diketahui, haruslah dikembangkan suatu aturan yang dapat menentukan sifat-sifat campuran yang terjadi dan berkaitan dengan komposisi campuran dan sifat-sifat dari masing-masing komponen.

Campuran yang digunakan terdiri atas  $\alpha = 1, \dots, v$  zat-zat murni yang berbeda, dalam hal ini merupakan komponen-komponen. Massa setiap komponen, yang secara umum dapat diidentifikasi dengan huruf Yunani,  $\alpha$ , diberikan dengan  $m_\alpha$ . Jika berat molekul dilambangkan dengan  $M_\alpha$  dan jumlah seluruh molekul zat adalah  $N_\alpha$ , dapat ditulis:

$$m_\alpha = N_\alpha M_\alpha \mu_H \quad (2.25)$$

dengan  $\mu_H$  adalah massa dari satu atom hidrogen:

$$\mu_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \quad (2.26)$$

Total massa dari campuran diberikan oleh persamaan:

$$m_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v m_\alpha = \sum_{\alpha=1}^v (N_\alpha M_\alpha \mu_H) \quad (2.27)$$

dan, jika tidak terjadi reaksi kimia, jumlah total molekul dalam campuran dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v N_\alpha \quad (2.28)$$

Seringkali kita ingin mendefinisikan berat molekul rata-rata,  $M_{mix}$ , dari suatu campuran. Dengan persamaan (2.23) kita dapat mendefinisikan:

$$m_{mix} = N_{mix} M_{mix} \mu_H \quad (2.29)$$

Dengan mengombinasikan persamaan (2.27) dan (2.23), diperoleh persamaan:

$$N_{mix} = \frac{m_{mix}}{M_{mix} \mu_H} = \sum_{\alpha=1}^v N_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_{\alpha}}{M_{\alpha} \mu_H} \quad (2.30)$$

Dengan demikian:

$$M_{mix} = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^v \left( \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} \frac{1}{M_{\alpha}} \right)} \quad (2.31)$$

Rasio massa suatu komponen,  $m_{\alpha}$ , terhadap massa campuran,  $m_{mix}$ , disebut fraksi atau konsentrasi massa,  $c_{mix}$  :

$$c_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} \quad (2.32)$$

dan dapat ditulis dengan cara alternatif untuk memperoleh berat molekul rata-rata campuran:

$$M_{mix} = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^v \left( \frac{c_{\alpha}}{M_{\alpha}} \right)} \quad (2.33)$$

Kuantitas yang seringkali dihitung dalam teori pencampuran termasuk:

- jumlah mol komponen  $\alpha$  :

$$v_{\alpha} = \frac{N_{\alpha}}{N_{Avo}} \quad (2.34)$$

dengan  $N_{avo}$  adalah bilangan Avogadro yang merupakan suatu konstanta dan merepresentasikan jumlah molekul/atom yang diperlukan untuk mengetahui satu mol substansi:

$$N_{avo} = 6,023 \cdot 10^{23} \quad (2.35)$$

- fraksi mol  $y_{\alpha}$  :

$$y_{\alpha} = \frac{v_{\alpha}}{v_{mix}} \equiv \frac{N_{\alpha}}{N_{mix}}, \text{ dimana } v_{mix} = \frac{N_{mix}}{N_{Avo}} \quad (2.36)$$

- densitas massa parsial dan volume spesifik komponen  $\alpha$  :

$$\rho_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{V_{mix}}, v_{\alpha} = \frac{1}{\rho_{\alpha}} = \frac{V_{mix}}{m_{\alpha}} \quad (2.37)$$

dengan  $V_{mix}$  menyatakan volume yang ditempati campuran zat-zat, dan

- densitas jumlah partikel komponen  $\alpha$  :

$$n_{\alpha} = \frac{N_{\alpha}}{V_{mix}} \quad (2.38)$$

Kuantitas-kuantitas di atas menyatakan identitas-identitas tertentu. Sebagai contoh, jumlah dari semua fraksi massa dan semua fraksi mol sama dengan satu:

$$\sum_{\alpha=1}^v c_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} = \frac{1}{m_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v m_{\alpha} = \frac{m_{mix}}{m_{mix}} = 1, \quad (2.39)$$

$$\sum_{\alpha=1}^v y_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^v \frac{v_{\alpha}}{v_{mix}} = \frac{1}{v_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v v_{\alpha} = \frac{1}{N_{mix}/N_{Avo}} \sum_{\alpha=1}^v \frac{N_{\alpha}}{N_{Avo}} = \quad (2.40)$$

$$\frac{1}{N_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v N_{\alpha} = \frac{N_{mix}}{N_{mix}} = 1$$

Densitas jumlah partikel dan densitas massa komponen  $\alpha$  dihubungkan dengan cara sebagai berikut:

$$\rho_{\alpha} = \frac{m_{\alpha}}{m_{mix}} = \frac{M_{\alpha} N_{\alpha} \mu_H}{V_{mix}} = M_{\alpha} \mu_H \frac{N_{\alpha}}{V_{mix}} = M_{\alpha} \mu_H n_{\alpha} \quad (2.41)$$

Densitas massa campuran diberikan oleh jumlah densitas massa parsial:

$$\rho_{mix} = \frac{m_{mix}}{V_{mix}} = \frac{1}{V_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v m_{\alpha} = \sum_{\alpha=1}^v \frac{m_{\alpha}}{V_{mix}} = \sum_{\alpha=1}^v \rho_{\alpha} \quad (2.42)$$

Perlu diketahui bahwa persamaan ini merupakan jenis aturan yang ingin ditemukan. Densitas massa campuran diikuti dengan penambahan sederhana dari densitas massa parsial dari unsur-unsur pokok atau, dengan kata lain, suatu sifat campuran dengan mudah ditentukan oleh sifat-sifat zat-zat murni, yang dapat diketahui.

Selain itu, konservasi massa juga memperbolehkan ditemukannya persamaan alternatif berikut untuk menghitung berat molekul rata-rata,  $M_{mix}$  :

$$m_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v m_{\alpha} \Leftrightarrow M_{mix} \mu_H N_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v (M_{\alpha} \mu_H N_{\alpha}) \quad (2.43)$$

$$M_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v \left( M_{\alpha} \frac{N_{\alpha}}{N_{mix}} \right) = \sum_{\alpha=1}^v (M_{\alpha} y_{\alpha})$$

## 2.8.2 HUKUM DALTON UNTUK PENCAampurAN GAS IDEAL: PENAMBAHAN TEKANAN PARSIAL

Suatu gas ideal terdiri atas molekul-molekul dengan energi potensial rata-rata di antaranya besarnya jauh lebih kecil daripada energi kinetik rata-ratanya. Dengan kata lain, jarak antara molekul-molekul pada gas ideal secara komparatif besar dan molekul-molekul tersebut merasakan kehadiran satu sama lain hanya pada waktu singkat ketika terjadi tumbukan. Kita mengetahui bahwa pada gas ideal, yang diidentifikasi dengan indeks  $\alpha$ , tekanannya,  $p_\alpha$ , temperatur,  $T$ , dan densitas,  $\rho_\alpha$ , berhubungan satu sama lain sesuai dengan persamaan keadaan termal, hukum gas ideal.

$$p_\alpha = \rho_\alpha \frac{R}{M_\alpha} T, \quad (2.44)$$

$R$  melambangkan konstanta ideal gas dan  $M_\alpha$  merupakan berat molekul gas. Sekarang persamaan (2.35) dan (2.39) dapat digunakan untuk densitas partikel dan persamaan dapat ditulis kembali seperti persamaan berikut:

$$p_\alpha = \rho_\alpha \frac{R}{M_\alpha} T = M_\alpha \mu_H n_\alpha \frac{R}{M_\alpha} T = n_\alpha kT, \quad k = \mu_H R = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \quad (2.45)$$

Jika gas ideal ini terdistribusi secara homogen di dalam volume  $V_{\text{mix}}$ , persamaan tersebut secara alternatif dapat ditulis sebagai berikut:

$$p_\alpha = \frac{N_\alpha}{V_{\text{mix}}} kT \quad (2.46)$$

dimana  $k$  merupakan *konstanta Boltzmann*. Konstanta tersebut dapat dilihat sebagai “konstanta gas atomik” per atom hidrogen dan untuk memperoleh nilai numeriknya dibutuhkan pengetahuan tentang massa dari satu atom tersebut. Sekarang ini nilai numerik untuk massa satu atom hidrogen dapat dengan mudah diperoleh pada buku-buku fisika. Faktanya, Albert Einstein sendiri yang pada pertama kali di tahun 1905 menentukan nilai  $k$  secara numerik dalam tesis *Ph.D*-nya pada pergerakan Brownian.

Dengan mengacu pada situasi persamaan (2.42), beberapa gas ideal, yang masing-masing berada dalam volume yang sama ( $V_{\text{mix}}$ ), dikombinasikan untuk membentuk sebuah campuran (tak bereaksi). Dapat diasumsikan bahwa pencampuran tidak mempengaruhi waktu interaksi dan waktu tumbukan antara atom-atom, yaitu bahwa kehadiran atom-atom/molekul-molekul lain yang serupa

atau yang tidak serupa tidak terasa sama sekali. Secara atomistik, tekanan merupakan perubahan momentum atom-atom yang memantul pada sebuah dinding dan tidaklah mengejutkan untuk menyatakan bahwa tekanan parsial,  $p_\alpha$ , dari setiap komponen gas ideal,  $\alpha$ , dapat dengan mudah ditambahkan untuk menghasilkan tekanan total campuran tersebut,  $p_{mix}$ , yang sekali lagi dapat dianggap sebagai gas ideal:

$$p_{mix} = \sum_{\alpha=1}^v p_\alpha, \quad (2.47)$$

$$p_\alpha = \rho_\alpha \frac{R}{M_\alpha} T = \frac{m_\alpha}{V_{mix}} \frac{R}{M_\alpha} T = n_\alpha kT = \frac{N_\alpha}{V_{mix}} kT, \quad (2.48)$$

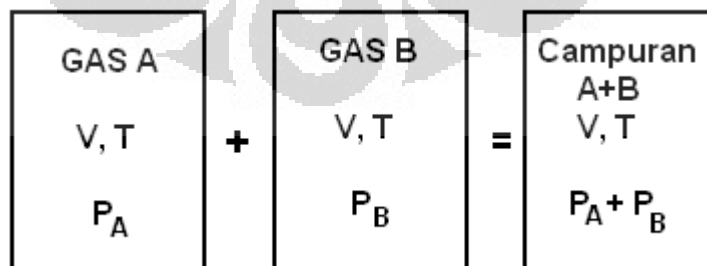
$$p_{mix} = \rho_{mix} \frac{R}{M_{mix}} T = \frac{m_{mix}}{V_{mix}} \frac{R}{M_{mix}} T = n_{mix} kT = \frac{N_{mix}}{V_{mix}} kT \quad (2.49)$$

Dua persamaan terakhir menunjukkan beberapa kemungkinan penulisan persamaan gas ideal yang akan lebih atau kurang berguna tergantung pada permasalahan. Persamaan tersebut konsisten dalam arti jika kita menjumlahkan persamaan (2.46) dengan mempertimbangkan semua komponen, dapat diperoleh persamaan berikut:

$$\sum_{\alpha=1}^v p_\alpha = \frac{kT}{V_{mix}} \sum_{\alpha=1}^v N_\alpha = \frac{kT}{V_{mix}} N_{mix} \quad (2.50)$$

Orang yang pertama menyatakan "hukum" ini secara jelas adalah ahli kimia Inggris John Dalton yang berpendapat demikian:

*Tekanan pada campuran gas ideal sama dengan penjumlahan setiap tekanan gas ideal dan akan menekan keberadaannya sendiri pada temperatur dan volume campuran.*



**Gambar 2.4. Hukum Dalton**

Sumber : [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Batas-batas pada validasi hukum Dalton akan terjadi khususnya jika gas-gas tersebut bertambah tebal dan gaya-gaya intermolekul menjadi lebih signifikan.

## 2.9 Dinamometer Dynodynamics

Alat dinamometer yang digunakan bertipe *Lowboy chassis AWD (All Wheel Drive)*, dengan kemampuan di masing-masing *roller* sebesar 600 hp (450 kW). Alat dinamometer ini dapat digunakan oleh kendaraan beroda empat maupun kendaraan beroda dua (sepeda motor) dan bersifat *real time*.

Data yang didapatkan saat *snap shot* : Tampilan layar *snap shot* merekam informasi pada setiap saat operator menekan tombol yang ada pada *remote* modul. *Autograph snap shot* secara otomatis mengambil data *snap shot* sesuai dengan yang ditentukan antara kecepatan atau RPM selama grafik terbentuk. Ketika tombol *snap shot* sistem akan merekam secara real time nilai yang dipilih oleh operator. Data yang dihasilkan akan disimpan pada file pengambilan data dalam format teks ASCII namun dapat pula dengan program yang lainnya. Data bisa dimasukkan ke dalam *spreadsheet*, *database*, atau program *word processor* yang diinginkan.

### 2.9.1 PERHITUNGAN YANG BERHUBUNGAN DENGAN INERSIA CHASSIS DINAMOMETER

$$\text{Linear Inertia (kg)} = \frac{\text{Tractive Effort (N)} \times 3.6}{\text{Ramp Rate (km/h)}} \quad (2.51)$$

$$\text{Linear Inertia (kg)} = \frac{\text{Power (kW)} \times 12960}{\text{Speed (km/h)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}} \quad (2.52)$$

$$\text{Tractive Effort (N)} = \frac{\text{Linear Inertia (kg)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}}{3.6} \quad (2.53)$$

$$\text{Power (kW)} = \frac{\text{Linear Inertia (kg)} \times \text{Ramp Rate (km/h)}}{12960} \quad (2.54)$$

Perlu diketahui bahwa *Chassis Dynamometer* bukan merupakan suatu alat yang dapat melakukan segala dan bukan merupakan akhir dari segala penyetulan



(*tuning*). Alat dinamometer efektif jika sang operator handal dalam mengoperasikannya, seperti halnya perlengkapan lainnya.

## 2.9.2 PENGUKURAN TENAGA MESIN

Pada faktanya tidak ada cara yang secara langsung dapat mengukur tenaga mesin, segala macam dinamometer mengukur torsi dan daya keluaran melakukan perhitungan dengan rumus BHP. Persamaan ini merupakan persamaan dasar yang mendasari segala jenis mesin, modifikasi, dan penyetelan (*tuning*). Dua metode utama yang digunakan dalam industri mesin adalah : (1) Pengukuran pada *crankshaft* dari mesin, atau (2) *Roller road dynamometer* (pengukuran pada roda). Berikut ini kita bahas mengenai perbedaan dari kedua metode tersebut:

### (1) Dinamometer mesin

Apabila kita hanya ingin mengetahui power dari mesin maka kita menggunakan dinamometer khusus untuk mesin. Ini menyerupai pada manufaktur *output shaft* dari mesin kendaraan. Mesin diletakkan pada dudukannya kemudian dihubungkan pada dynamometer, biasanya menggunakan *Propeler Shaft* (as kopel) yang dihubungkan pada bagian belakang dari poros engkol (atau pada roda gila). Gambaran dari *power* yang diukur dengan cara ini umumnya disebut sebagai "*flywheel power*". Alat Dinamometer memerlukan pengereman (rem) dimana digunakan untuk mengetahui torsi (atau beban) dari mesin tersebut. Pada saat mesin ditahan pada kecepatan tetap dengan beban yang diberikan oleh dinamometer kemudian torsi yang telah diberikan oleh dinamometer harus dengan tepat menyamakan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin.

Sebagai contoh, apabila kita ingin mengetahui torsi mesin pada saat *wide open throttle* (WOT) di rpm 4000. *Throttle* secara perlahan-lahan akan membuka dan pada saat yang bersamaan beban yang diberikan oleh dinamometer juga bertambah – kemungkinan dengan memainkan besaran dari beban yang diberikan kita mencapai keadaan dimana skep karburator dibuka penuh dan rpm tetap pada 4000. Torsi yang diberikan dicatat kemudian pengoperasian diulang pada interval lain seperti rpm 5000. Dengan meneruskan proses ini kita akan mendapatkan grafik torsi dari keseluruhan putaran mesin. Tentu saja

kita juga bisa melakukan pengukuran dengan bukaan skep karburator yang tidak *full* bila diinginkan. Alat dinamometer yang modern dikontrol oleh sistem komputer dan bisa menghasilkan kurva tenaga dan torsi dengan cepat dan seorang operatornya pun tidak perlu bersusah payah untuk mengatur *throttle* dan kontrol beban secara manual. Hal itu bisa diprogram untuk mengukur di setiap kelipatan rpm, sebagai contoh pada setiap penambahan 250 atau 500 rpm.

## (2) *Rolling Road Dynamometer*

Biasa disebut dengan *chassis* dinamometer, digunakan untuk mengukur tenaga yang dihasilkan pada roda kendaraan. Alat ini diciptakan agar kita tidak perlu bersusah payah untuk melepaskan mesin dari kendaraannya hanya untuk tujuan melakukan tuning modifikasi yang telah ada. Bagaimanapun juga, hal ini berarti gambaran power yang terbentuk akan lebih rendah dibandingkan dengan *flywheel power* karena adanya *frictional losses* pada transmisi dan ban. Selanjutnya kita terangkan cara kerja rolling road dynamometer. Kendaraan dinaikkan keatas *chassis dyno* dan letakkan roda tepat diatas roller kemudian di ikat menggunakan strap. Torsi diukur pada kecepatan yang berbeda akan tetapi tepat sama seperti pada mesin dinamometer kecuali torsi pada roller lebih baik daripada torsi pada *flywheel*. Beban pengereman dihasilkan oleh salah satu roller dengan menggunakan hidrolik (*water brake*) atau dengan sistem elektrik sama pada *engine dyno* yang mengaplikasikan torsi pada *crankshaft* dari mesin. Perhitungan umum yang sama,  $BHP = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252$ , bisa digunakan untuk menghitung bhp pada roller dengan mengetahui torsi dan rpm pada roller (bukan rpm pada mesin). Tapi bila rpm mesin diukur secara serentak atau berbarengan maka kita juga dapat mengetahui bhp di roller pada rpm mesin utama.

Masalah besar yang kita hadapi pada dinamometer tipe seperti ini adalah bila terjadinya slip pada ban. Kita ketahui bahwa permukaan dari roller adalah besi yang memiliki grip halus, dimana lama kelamaan akan menjadi licin. Kita bisa bayangkan perbedaan grip yang dihasilkan antara besi dibandingkan dengan permukaan aspal. Efek dari slipnya ban ini cukup kompleks sehingga

grafik yang dihasilkan akan terlihat tidak bagus, namun hal ini bisa diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan dengan tekanan ban yang tepat.

### 2.9.3 CARA KERJA INERSIA PADA DINAMOMETER JENIS ROLLING ROAD

Sebagian besar jenis *dyno rolling road* yang sering dipakai untuk menentukan kekuatan bentuk di US adalah dynamometer inersia. *Inersia dyno* tidak secara langsung mengukur gaya pada perputaran roller dyno ke dalam penentuan kekuatan bentuknya. Dari beberapa sistem tersebut untuk melakukan perhitungan gaya (*force*) dalam perputaran digunakan rumus :

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots (2.55)$$

dimana F merupakan gaya (N), m adalah massa (kg), dan a adalah percepatan ( $m/s^2$ )

Massa dan sistem inertia dari perputaran dyno telah kita ketahui sebelumnya. Dimana untuk menghitung kekuatan yang digunakan, dyno inersia mengukur kecepatan dari perputaran berdasarkan pengukuran peningkatan dalam aliran dan *voltage* yang dihasilkan ketika *dyno eddy* mengalir secara *retarders* di pakai sebagai generator pembangkit dari pada power yang diserap (dipakai sebagai penahan beban dynamometer ketika melakukan penyetelan mesin).

Gaya pada roller dimana massa roller dikalikan oleh percepatan ditentukan oleh *voltage output*. Gaya ini dikalikan oleh radius dari perputaran itu sendiri untuk memberikan torsi pada roda, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (2.56)$$

Dimana T = torsi;

F = gaya : dan

r = radius atau jarak yang diaplikasikan.

Power ditentukan dengan rumus

$$BHP = \text{Torsi (ft/lbs)} \times \text{rpm} / 5252 \dots\dots\dots (2.57)$$

Rumus ini kemudian digunakan untuk mengukur power pada roda. Apabila point-point power yang terjadi pada mesin ini digunakan sebagai acuan, maka gambaran

power ini bisa dijadikan plot kurva power. Untuk menggambarkan power yang terjadi pada *flywheel*, penurunan coast prosedur dipakai untuk mengukur deselerasi pada roller, dan memakai gambaran ini sebagai kecepatan negative dan rumus  $F = ma$  kembali digunakan untuk mengetahui power yang hilang melalui transmisi.

Masalah besar yang dihadapi adalah ketika perubahan terjadi pada setiap sistem yang mengalami perputaran. Dalam hal ini termasuk didalamnya seperti kopling, *flywheel*, atau roda. Bagian-bagian tersebut tidak mempengaruhi power pada mesin, akan tetapi bagaimanapun juga hal tersebut akan merubah atau mempengaruhi hasil pengukuran *output power* dalam *inersia dyno*. Ini merupakan alasan lain mengapa angka yang dihasilkan oleh dinamometer tidak dapat menjamin keakuratannya lebih dari 5%.

## 2.10 SIMULASI PENCAMPURAN GAS

Hasil simulasi dilakukan dengan menggunakan software Cosmos Flow ,maka akan dapat diketahui dan terlihat karakteristik dari hasil pencampuran LPG dan udara pada *mixer*. Parameter yang akan diamati ialah :

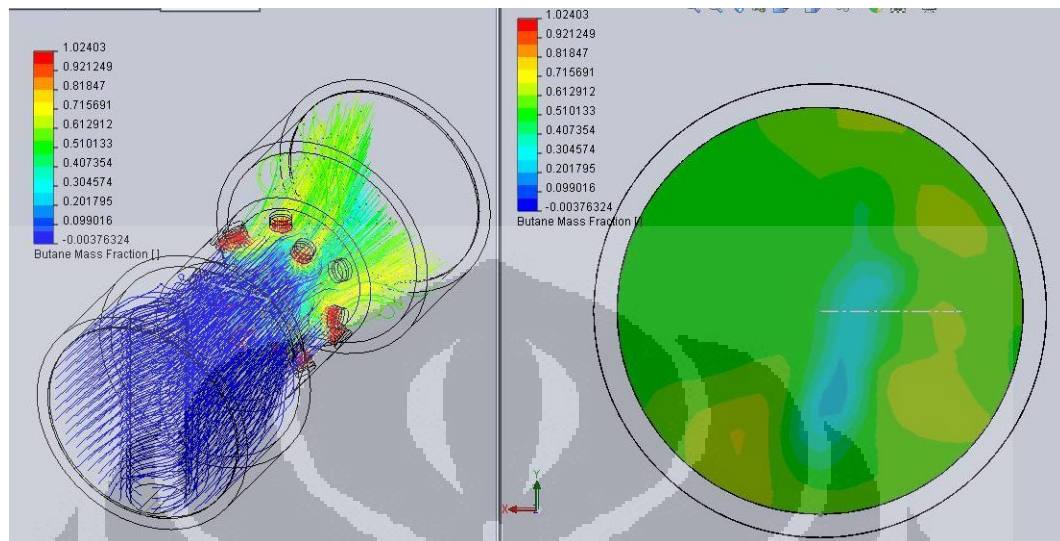
- Vektor kecepatan
- Tekanan Statis
- Temperatur
- Fraksi massa spesies ( butana dan oksigen )

### 2.10.1 ANALISIS *VENTURI MIXER BLUFF BODY* SILINDER

*Venturi Mixer* 12 lubang menyilang *bluff body* silinder menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisa berbagai jenis parameter yang diamati, antara lain:

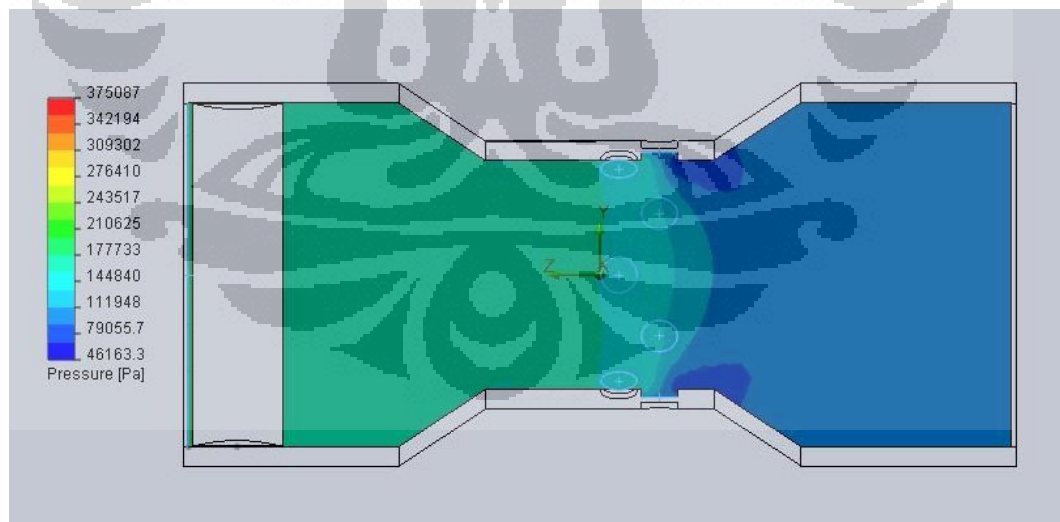
## Bluff Body Silinder Diameter 9 mm

Penyebaran Fraksi Massa :



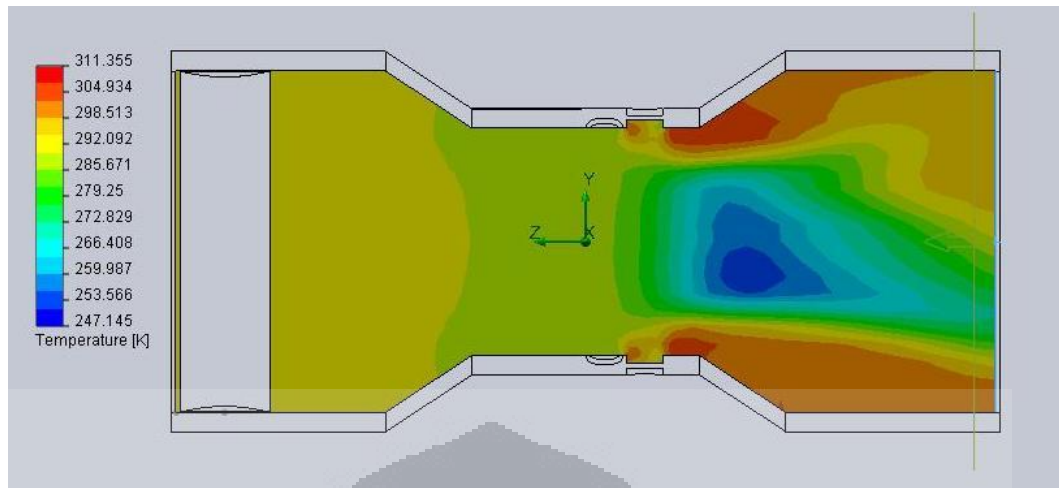
**Gambar 2.5. Penyebaran Spesies *Bluff Body* Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

Analisis Tekanan :



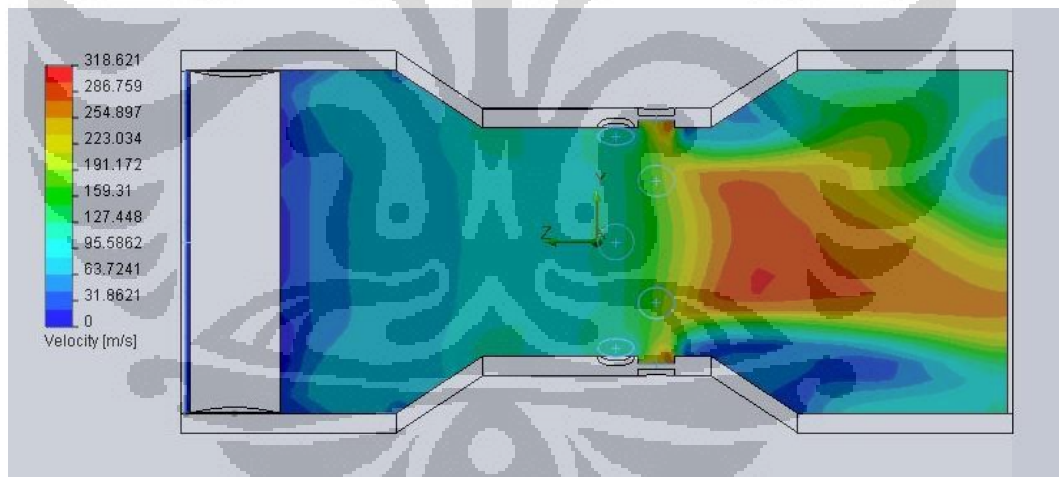
**Gambar 2.6. Analisis Tekanan *Bluff Body* Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

### Analisis Temperatur :



**Gambar 2.7. Analisis Temperatur *Bluff Body* Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

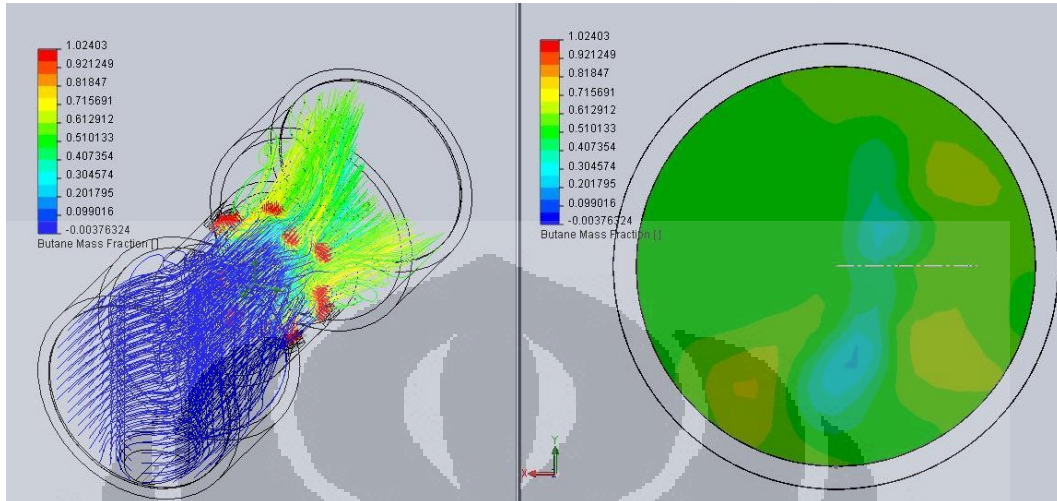
### Analisis Vektor Kecepatan :



**Gambar 2.8. Vektor Kecepatan *Bluff Body* Silinder Diameter 9 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

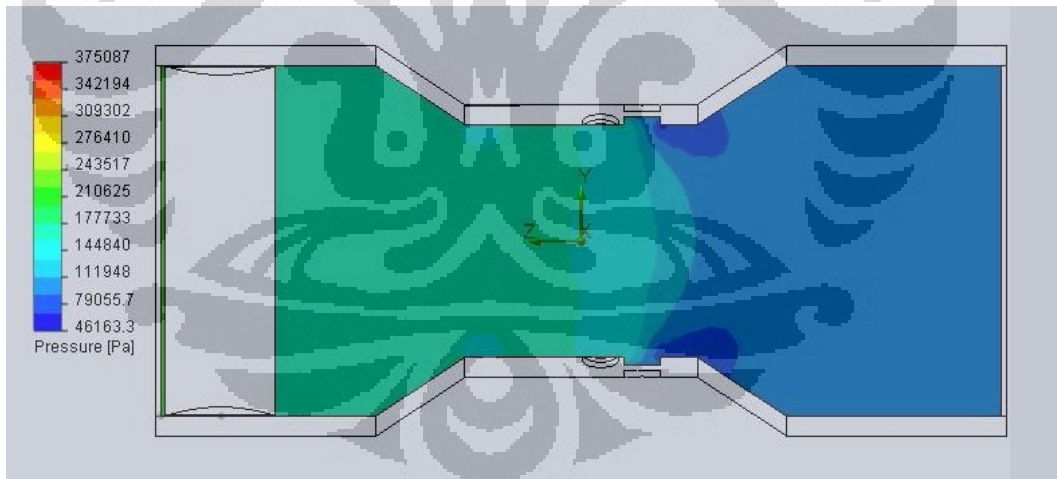
## Bluff Body Silinder Diameter 11 mm

Penyebaran Fraksi Massa :



**Gambar 2.9. Penyebaran Spesies *Bluff Body* Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

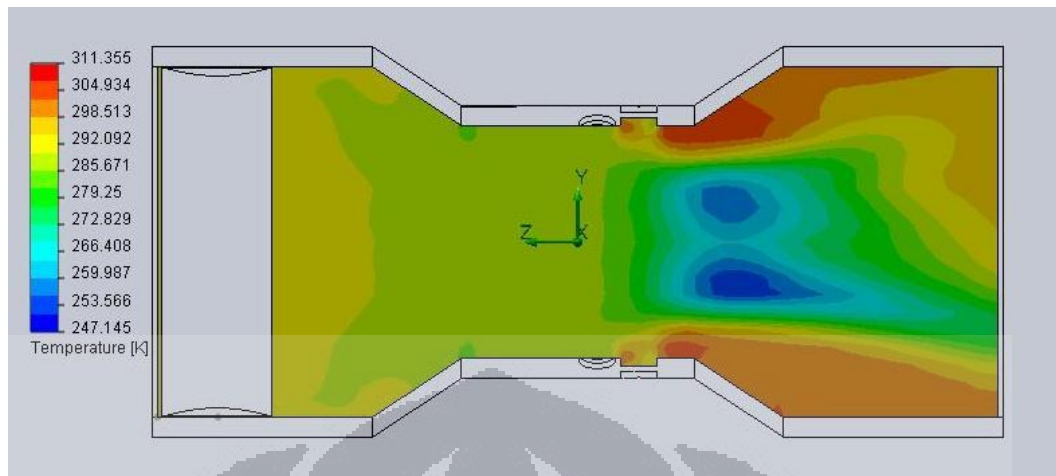
Analisis Tekanan :



**Gambar 2.10. Analisis Tekanan *Bluff Body* Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

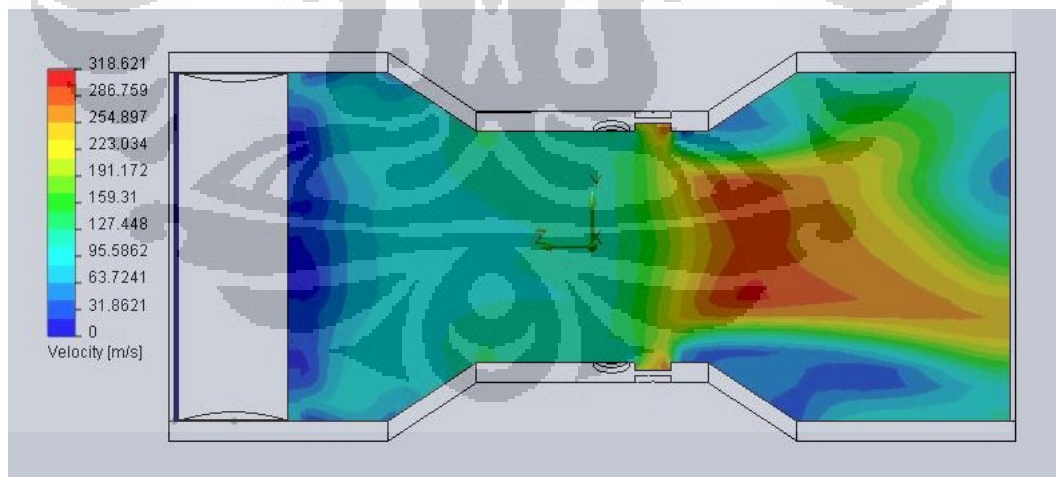


### Analisis Temperatur :



**Gambar 2.11. Analisis Temperatur *Bluff Body* Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

### Analisis Vektor Kecepatan :

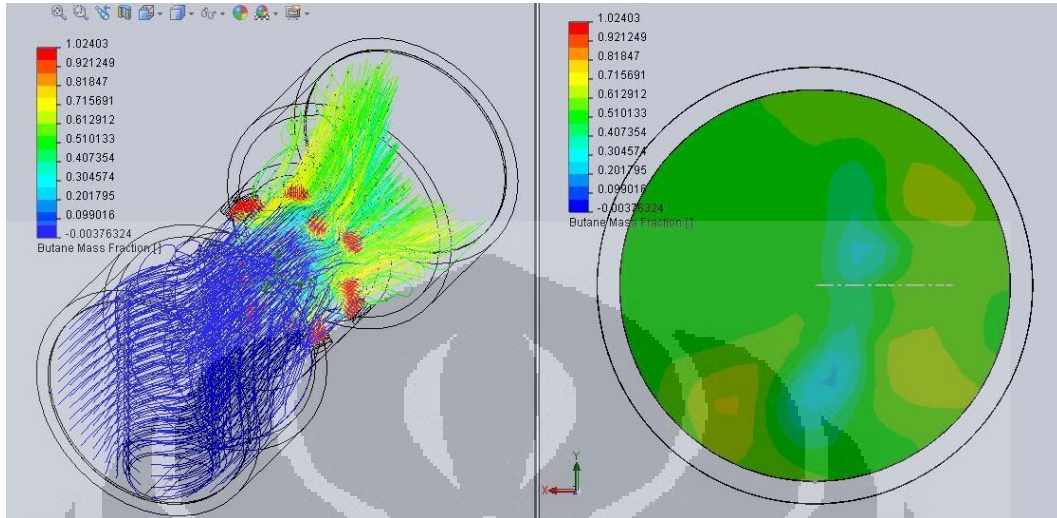


**Gambar 2.12. Vektor Kecepatan *Bluff Body* Silinder Diameter 11 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***



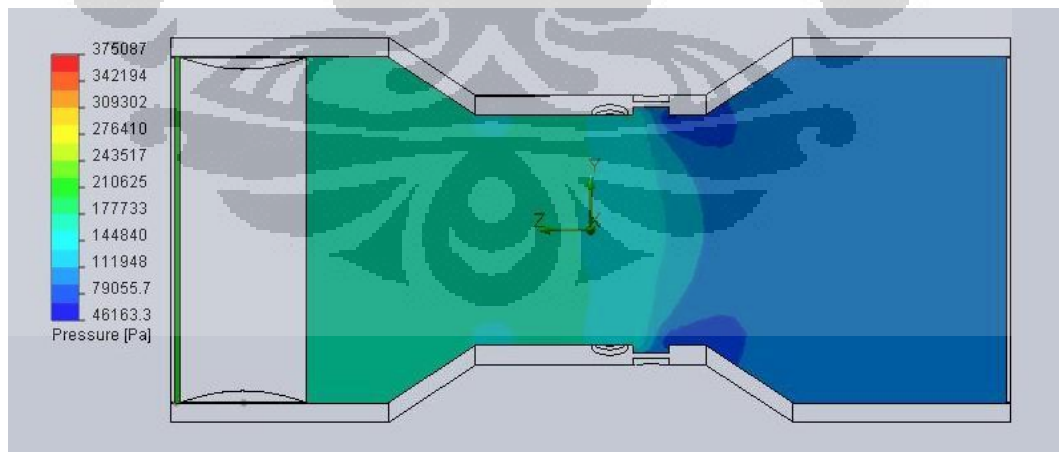
## Bluff Body Silinder Diameter 13 mm

Penyebaran Fraksi Massa :



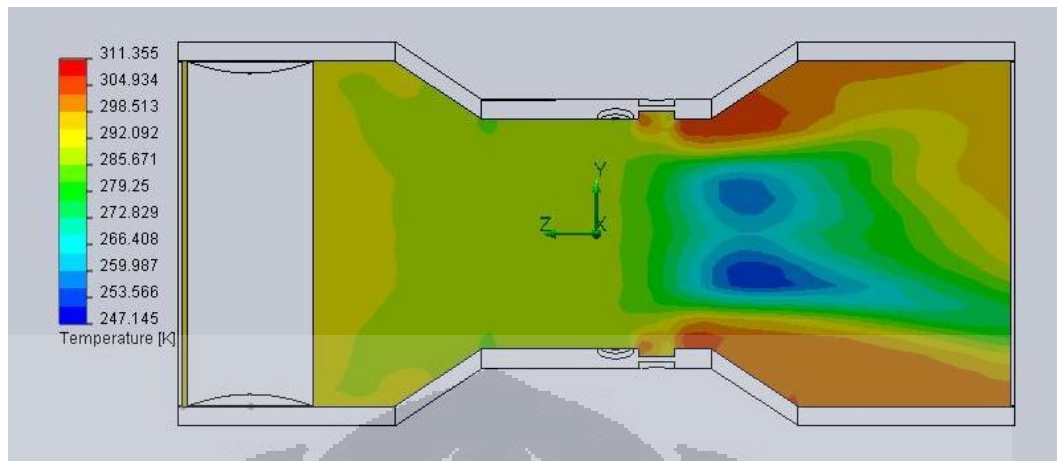
Gambar 2.13. Penyebaran Spesies *Bluff Body* Silinder Diameter 13 mm pada Simulasi *Cosmos Flow*

Analisis Tekanan :



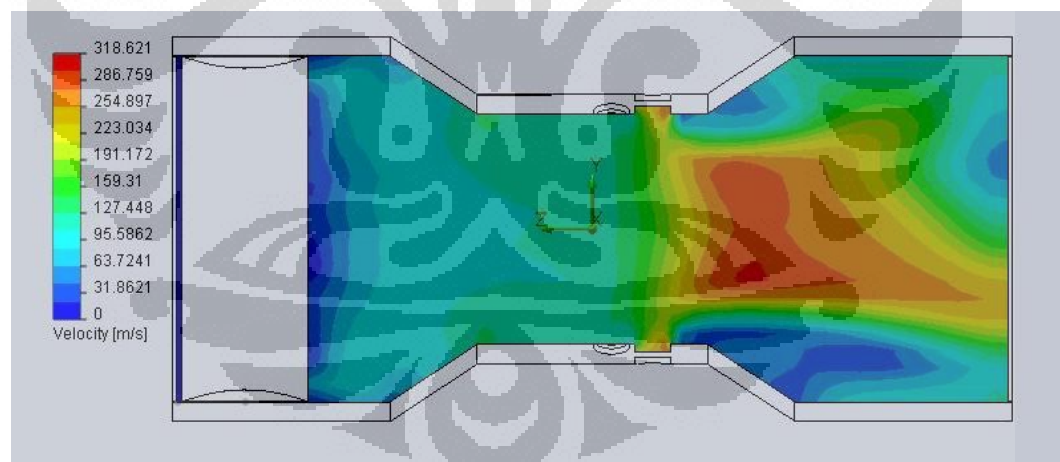
Gambar 2.14. Analisis Tekanan *Bluff Body* Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow*

### Analisis Temperatur :



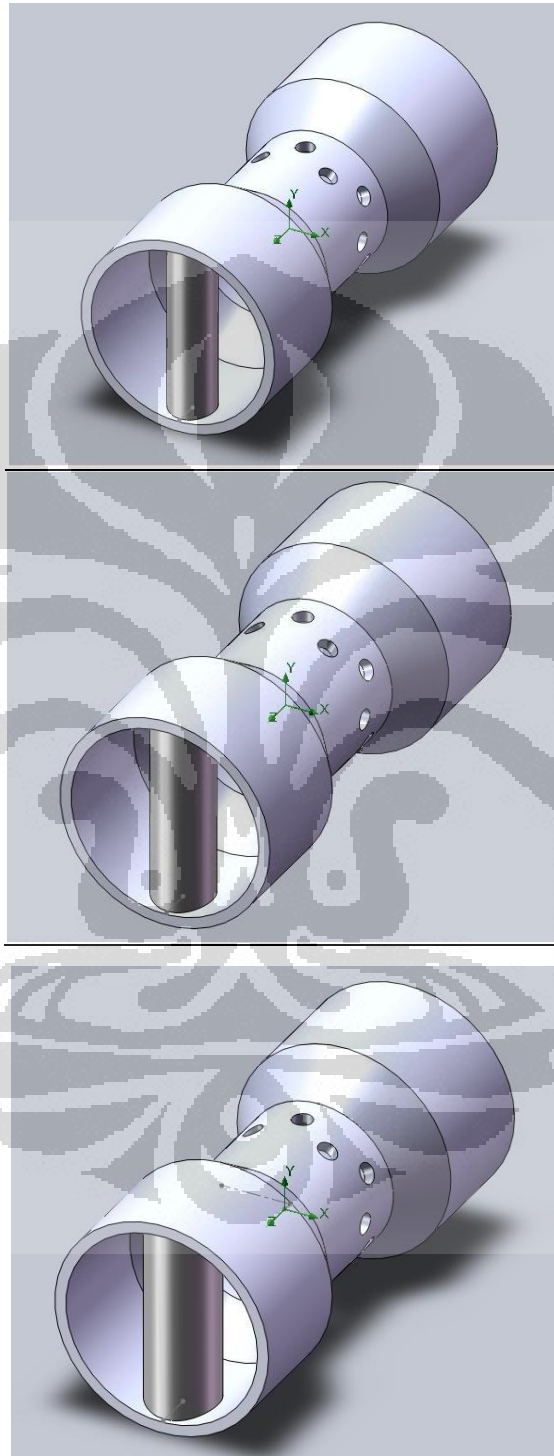
**Gambar 2.15. Analisis Temperatur *Bluff Body* Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

### Analisis Vektor Kecepatan :

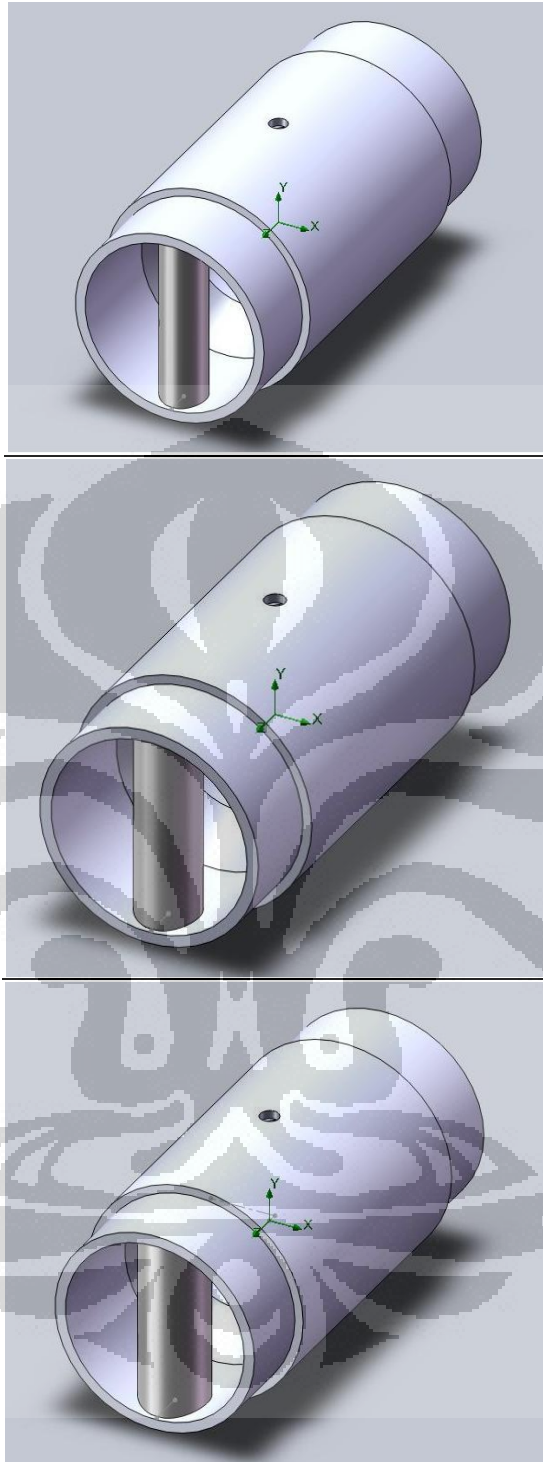


**Gambar 2.16. Vektor Kecepatan *Bluff Body* Silinder Diameter 13 mm Pada Simulasi *Cosmos Flow***

**2.11 GAMBAR HASIL DESAIN VENTURI MIXER BERDASARKAN COSMOS FLOW**



**Gambar 2.17. Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan Bluff Body Silinder Diameter 9mm (atas), 11mm (tengah), dan 13mm (bawah)**



**Gambar 2.18. Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang *Bluff Body* Silinder Diameter 9mm (atas), 11mm (tengah), dan 13mm (bawah) Dengan Penutup**



**Gambar 2.19 Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang *Bluff Body* Silinder Diameter 9mm (kiri), 11mm (kanan), dan 13mm (atas) Dengan Penutup (Hasil Proses Manufaktur)**



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

- memilih subjek penelitian
- melakukan studi literatur
- melakukan pembuatan sistem penyaluran gas
- melakukan instalasi alat uji
- melakukan eksperimen pengujian
- mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
- mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik dan kemudian melakukan analisis

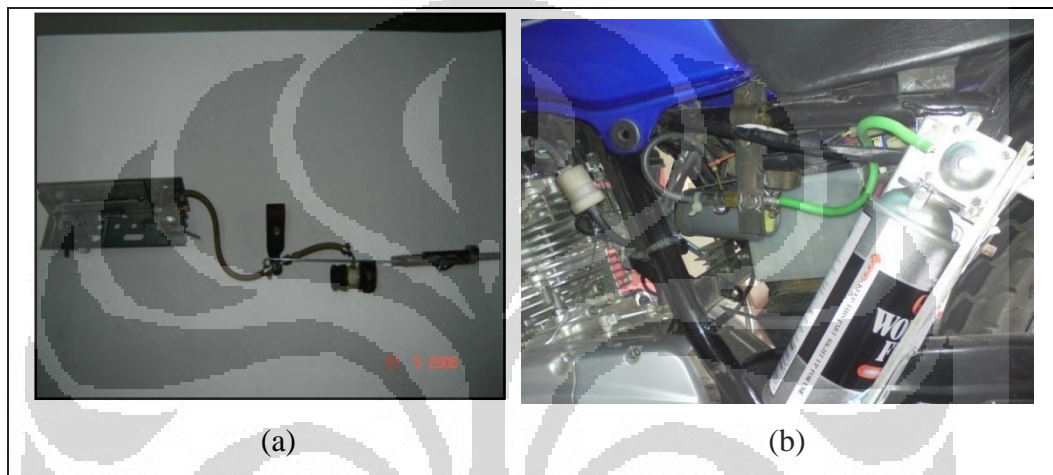
#### 3.1 PROSES Pengerjaan Sistem Pemasukan Gas

Sistem pemasukan LPG yang digunakan yaitu dengan menggunakan mekanisme yang memungkinkan pemasukkan gas terjadi pada saat putaran tertentu sesuai dengan besarnya putaran grip. Dengan mekanisme ini besarnya aliran gas akan semakin besar seiring dengan besarnya putaran grip. Pada sistem ini kawat yang berasal dari grip dibuat bercabang. Satu cabang dihubungkan dengan karburator dan cabang yang lain dihubungkan dengan mekanisme pemasukkan gas.

Sistem pemasukan LPG yang digunakan pada penelitian sebelumnya diperbaiki dengan menambahkan *venturi mixer* pada sistem tersebut. Sehingga sistem pemasukkan gas yang digunakan terdiri atas kompor gas portable, katup penghubung, selang bahan bakar, nosel dan *venturi mixer*. Kompor gas portable digunakan sebagai tempat meletakkan tabung gas yang akan diuji dan sebagai pengatur aliran gas awal. Katup penghubung digunakan sebagai alat yang terhubung dengan mekanisme yang memungkinkan katup ini terbuka seiring dengan putaran grip.

Selang bahan bakar digunakan sebagai saluran gas LPG yang digunakan yang menghubungkan kompor gas portable dengan katup dan antara katup dengan

nosel. Mekanisme dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan terbukanya katup gas seiring dengan putaran grip. Pada motor, *venturi mixer* disambungkan ke karburator dengan menggunakan karet dan klep pengencang. Saluran gas disambungkan ke *venturi mixer* melalui satu lubang yang telah dibuat di pipa lurus. *Venturi mixer* ini dipasang untuk menggantikan pipa yang digunakan pada penelitian sebelumnya sebagai tempat bercampurnya udara dan LPG. Gambar penempatan saluran aliran gas elpiji dapat dilihat dibawah ini:



**Gambar 3.20. (a) Sistem penyaluran gas LPG model lama, (b) Penempatan sistem penyaluran gas LPG pada sepeda motor model baru (*venturi mixer*)**

### 3.2 INSTALASI ALAT UJI

Peralatan uji yang digunakan dalam penelitian antara lain:

- Motor Suzuki Thunder 125
- Sistem penyaluran gas LPG
- *Multigas Infra Red Gas Analyzer*
- Dinamometer *Dyno Dynamics*
- Timbangan digital merk AND tipe EK-2000i
- Gas LPG kecil (*Wonder Fuel*) sebagai bahan bakar gas
- *Venturi mixer*
- Gelas ukur dengan ukuran maksimum 1000 ml dan ketelitian 100 ml
- Gelas ukur dengan ukuran maksimum 250 ml dan ketelitian 2 ml
- *Stopwatch*

- *Speedometer, and tachometer*

Detail beberapa peralatan uji adalah sebagai berikut:

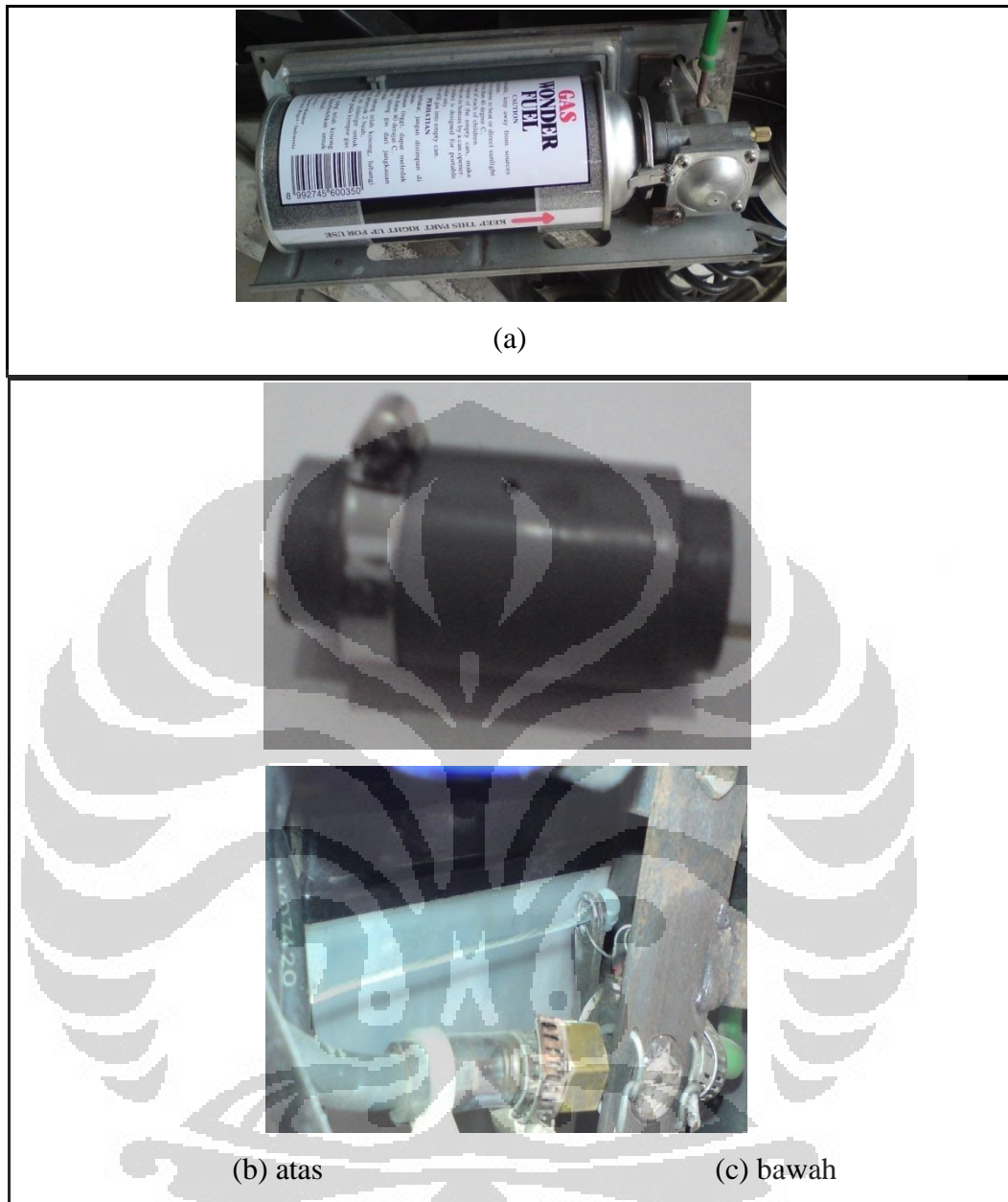
#### 1. Spesifikasi Mesin Suzuki Thunder 125

Kapasitas silinder	: 124 cc 4 langkah
Tipe mesin	: satu silinder
Diameter x langkah	: 57 x 48,8 mm
Rasio kompresi	: 9,2 : 1
Daya mesin maksimum	: 11,5 PS (9500 rpm)
Gigi Transmisi	: 5 speed
Sistem pengapian	: CDI
Kopling	: Manual, constant mesh
Kapasitas pelumas	: 1,1 liter
Sistem Starter	: kick starter dan listrik

#### 2. Sistem penyaluran gas LPG

Kompur gas portabel	: bagian yang digunakan adalah sistem penyaluran gas yang terdiri dari dudukan tabung dan katup.
Mekanisme	: bagian ini berfungsi sebagai sistem yang memungkinkan penyaluran gas terjadi sesuai dengan besarnya putaran <i>throttle</i> , dan dapat diatur saat gas terbuka.
Selang	: Selang menyalurkan gas dengan menghubungkan kompor gas <i>portable</i> dengan katup dan antara katup dengan nosel.
Nosel	: mulut pipa yang merupakan bawaan kompor gas.
Katup penghubung	: bagian ini merupakan katup regulator yang biasa digunakan pada sistem bahan bakar.
Venturi <i>mixer</i>	: bagian ini berfungsi untuk mencampur udara dan LPG





**Gambar 3.21. (a) Kompor Gas Portabel, (b) Venturi mixer, (c) Katup Penghubung**

### 3. Spesifikasi *Gas Analyzer*

Merek	: <i>Tecnotest</i>
Model	: 488
Jenis	: <i>Multigas Tester</i> dengan infra merah
Negara pembuat	: Italia
Tahun produksi	: 1997
Jangkauan pengukuran	

- CO	: 0 – 9,99	% Vol res 0,01
- CO <sub>2</sub>	: 0 – 19,99	% Vol res 0,1
- HC	: 0 – 9999	ppm vol res 1
- O <sub>2</sub>	: 0 – 4	% Vol res 0,01
	: 4 – 25,0	% Vol res 0,1
- NO <sub>x</sub>	: 0 – 2000	ppm Vol res 5
- Lambda	: 0,500 – 2,000	res 0,001
- Temp. operasi	: 5 – 40 °C	
Hisapan gas yang dites	: 8 L/menit	
Waktu respons	: < 10 detik ( untuk panjang <i>probe</i> 3 m)	
Dimensi	: 400 x 180 x 420 mm	
Berat	: 13,5 kg	
Waktu pemanasan	: maksimal 15 menit	
Sumber tegangan	: 110/220/240 V, 50/60 Hz	
Tes kebocoran dan kalibrasi otomatis.		
Kontrol aliran internal dan kalibrasi secara otomatis.		

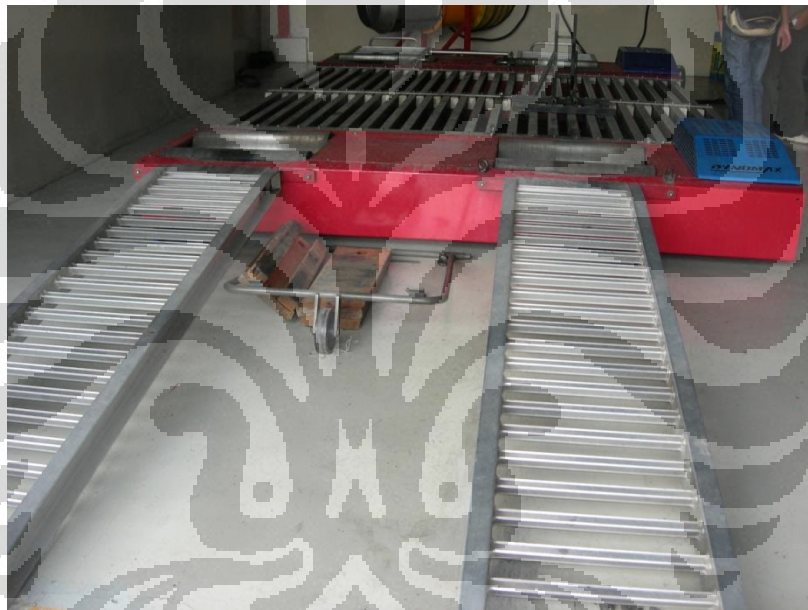
#### Prinsip Kerja *Infra Red Gas Analyzer*

Gas Analyzer akan menganalisis kandungan gas buang dan menghitung campuran udara-bahan bakar (*lambda*). Gas buang diukur dengan memasukkan probe ke dalam gas buang kendaraan. Gas buang yang dianalisis telah dipisahkan dari kandungan airnya melalui saringan kondensasi yang lalu diteruskan ke sel pengukuran.

Pemancar akan menghasilkan sinar infra merah yang dikirim melalui filter optis ke penerima sinar infra merah untuk menganalisis kandungan gas buang berupa CO, HC, CO<sub>2</sub>, yang lalu diteruskan ke *amplifier* dan selanjutnya ditampilkan di *display*. Gas yang terdapat pada sel ukur akan menyerap sinar infra merah dengan panjang gelombang yang berbeda tergantung dari masing-masing konsentrasi gas. Gas H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub> (memiliki nomor atom yang sama) akan membentuk komposisi molekul dan tidak menyerap sinar infra merah. Sehingga pengukuran ketiga komponen tersebut melalui sensor kimia.

#### 4. Dinamometer

Merk	: <i>Dyno Dynamics</i>
Model	: <i>Lowboy chassis AWD</i>
Spesifikasi	
- Max. Power (Depan)	: 450 kW (600HP)
- Max. Power (Belakang)	: 450 kW (600HP)
- Max. Power gabungan	: 900 kW (1200HP)
- Kapasitas Beban	: Berat kendaraan 4,500kg (10,000 lbs)
- Max. Speed	: 250 km/h (150mph)
- Wheel Base Min.	: 2,250mm (88.5")
- Wheel Base Max.	: 3,500mm (138")



**Gambar 3.22. *Lowboy chassis AWD***

Perhitungan-perhitungan yang dapat dihasilkan antara lain

1. Tenaga yang dihasilkan
2. *Tractive Effort*
3. Torsi mesin
4. *Air Fuel Ratio* atau  $\lambda$
5. Kecepatan roda
6. Kecepatan putaran mesin
7. *Manifold vacuum/boost*
8. Temperatur udara masuk

9. HC, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>
10. *Diesel Opacity*
11. *Odometer*

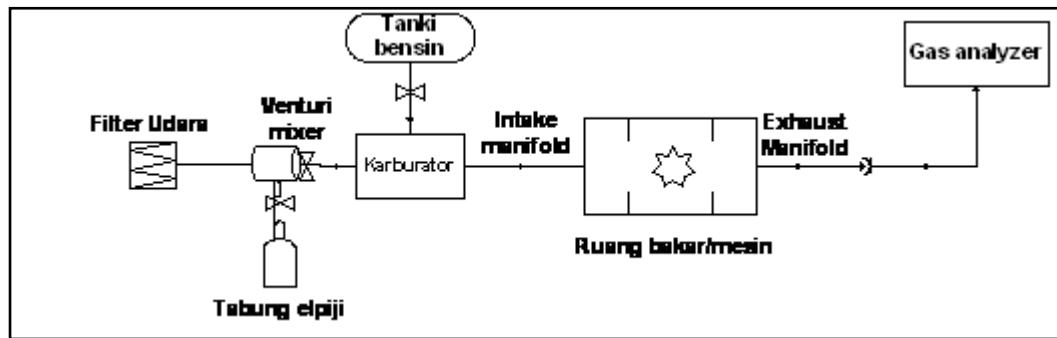
Jenis kendaraan yang dapat di diagnosa oleh dinamometer *dynodynamics*

1. *Rear wheel drive*/Tarikan roda belakang (2WD)
2. *Front wheel drive*/ Tarikan roda depan (2WD)
3. Kendaraan FWD/AWD
4. *Recreational vehicles* (RV)
5. Kendaraan balap dengan 2WD/4WD
6. *Sport Utility Vehicles* (SUV)
7. *Light commercial vehicles*
8. Sepeda motor

Menu Transmisi yang dapat dipilih

1. *Rear wheel drive*
2. *Front wheel drive*
3. *All wheel drive*
4. *Locked front:rear AWD/4WD*
5. *Full time AWD/4WD*
6. *Viscous coupled AWD/4WD*
7. *Interlligent European AWD/4WD*

Kemudian seluruh peralatan uji tersebut dirangkai seperti yang tergambar dalam skema berikut ini:



**Gambar 3.23. Skema Pencampuran Bahan Bakar**

Perlu diketahui, data-data prestasi mesin yang diperoleh dari eksperimen dengan alat uji di atas pada penelitian ini merupakan data-data terukur karena tidak mewakili nilai sebenarnya dari suatu parameter yang diukur sehingga analisis hasil pengolahan data dilakukan dengan membandingkannya dalam bentuk persen untuk tiap perubahan variabel gas elpiji.

### 3.3 PERSIAPAN PENGUJIAN

Kegiatan persiapan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian dimaksudkan untuk memperoleh data terukur yang lebih akurat dan presisi. Persiapan-persiapan tersebut mencakup beberapa pemeriksaan dan pemanasan alat uji seperti:

- Pemeriksaan kondisi motor secara umum dan pemeriksaan sambungan-sambungan pada sistem penambahan elpiji.
- Menempatkan sepeda motor diatas sasis *dyno test*, kemudian mengikatnya menggunakan *strap* yang kuat agar posisi ban belakang dari sepeda motor tepat diatas bantalan *roller*.



**Gambar 3.24. Pengikatan motor dan penempatan diatas roller**

- Melakukan kalibrasi antara rasio gigi terhadap kecepatannya, dalam hal ini percobaan dilakukan menggunakan persneling gigi 1 dengan pertimbangan agar kerja kopling motor tidak terlalu berat. Perlu diketahui bahwa posisi gigi 1 ataupun gigi yang lainnya sama-sama menghasilkan *output* yang sama.
- Pemeriksaan *filter*, *probe*, sambungan selang, dan sambungan listrik *gas analyzer*.



**Gambar 3.25. gas analyzer**

- Pemanasan mesin hingga dicapai kondisi operasi dan putaran idle selama kurang lebih lima menit.
- Pemanasan *gas analyzer* maksimal selama 15 menit.

#### Prosedur Menghidupkan *Gas Analyzer*

1. Menghubungkan kabel utama *Gas Analyzer* ke sumber listrik.

2. Menekan tombol '**ON/OFF**' di bagian belakang untuk menyalakan *gas analyzer*.
3. Setelah alat menyala, pada display kiri atas muncul kode '**01**' yang berarti proses pemanasan alat yang berlangsung maksimal 15 menit.
4. Selanjutnya, pada display akan muncul kode '**21**' yang berarti sedang berlangsung proses kalibrasi otomatis selama  $\pm 2$  menit.
5. Setelah proses kalibrasi selesai, alat akan mengukur kandungan O<sub>2</sub> di udara bebas (sekitar 21 % vol), kemudian menekan tombol '**pump**' untuk menampilkan kode '**03**' yang berarti *gas analyzer* berada dalam kondisi *stand by* dan siap untuk digunakan.

#### Prosedur Pengoperasian *Gas Analyzer*

1. Memasang kabel pengukur kecepatan putaran mesin pada kabel busi dengan memperhatikan arah tanda panah.
2. Memasukkan *probe* ke dalam knalpot lalu menekan tombol '**pump**' dan alat segera akan melakukan pengukuran.
3. Menunggu hingga seluruh komponen gas buang sudah tampil dan menunjukkan nilai yang stabil, lalu menekan tombol '**print**' untuk mencetak hasil pengukuran.
4. Mengeluarkan *probe* dari knalpot.
5. Menekan tombol '**pump**' setelah proses mencetak selesai agar alat kembali kepada posisi *stand by*.
6. Hal-hal yang perlu diperhatikan:
  - Bila pada alat muncul kode '**71**' (*vacuum too low*) atau '**72**' (*vacuum too high*) berarti aliran gas dari knalpot yang masuk ke dalam alat mengalami penyumbatan yang kemungkinan disebabkan selang terjepit, tertekuk, atau terjadi kebocoran. Hal ini dapat diatasi dengan memeriksa kondisi alat dan menyemprotkan aliran udara kompresor pada selang dan *probe*.
  - Kode '**81**' (*voltage too high*) dan kode '**82**' (*voltage too low*) akan muncul bila tegangan listrik terlalu tinggi / rendah.

- Kode '92' (*span O<sub>2</sub> factor*) akan muncul bila sensor oksigen terlepas atau masa pakai sudah habis dan perlu diganti (1-2 tahun).
- Kode '00' akan muncul jika alat perlu diset ulang dengan mematikan alat selama 10 detik lalu dihidupkan kembali.
- Kode '61' berarti alat sedang melakukan tes kebocoran. Apabila setelah itu muncul kode '65', maka alat mengalami kebocoran.

#### Prosedur Mematikan *Gas Analyzer*

1. Memastikan alat berada pada kondisi *stand by* (pada *display* muncul kode '03') dan kemudian alat dimatikan dengan menekan tombol '*ON/OFF*'.
2. Melepaskan kabel utama dari sumber listrik.
3. Membersihkan embun pada selang dan filter pemisah kondensasi serta sisa karbon pada *probe* dengan menyemprotkan aliran udara kompresor agar tidak mampat saat digunakan lagi.

### 3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Dalam proses pengujian motor dengan penambahan LPG ini, diperlukan data-data yang digunakan untuk proses penganalisisan hasil pengujian. Data-data tersebut antara lain adalah laju aliran massa LPG, konsumsi bahan bakar, daya dan torsi mesin, gas buang, serta akselerasi. Kesemuanya diambil dengan memvariasikan bukaan katup regulator kompor LPG dan jumlah lubang pada *venturi mixer*.

#### 3.4.1 PENGAMBILAN DATA DENGAN DYNAMOMETER

1. Seluruh pengambilan data dilakukan diatas mesin *dyno test* dimana terlebih dahulu kita harus memposisikan sepeda motor tepat diatas bantalan *roller* yang telah ditentukan. Pengambilan data ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu pada saat motor dalam keadaan standar, tanpa tambahan LPG dan pada saat dilakukan penambahan LPG. Hasil dari pengambilan data ini adalah :
  - a. Putaran mesin (RPM), range yang diuji adalah 3000 sampai dengan 7000 rpm
  - b. Rasio antara 1<sup>st</sup> *gear* dengan kecepatan kita dapatkan 222,2 : 1



- c. Komposisi propana dan butana yang terkandung dalam LPG
- d. Nilai  $\lambda$

Dari pengujian tersebut di atas akan didapat data-data daya mesin, torsi, dan AFR.

2. Pengambilan data tahap pertama dimulai dengan pengetesan motor tanpa tambahan LPG, range RPM yang diuji adalah 3000 sampai dengan 7000. Pengambilan data ini dilakukan sebanyak tiga kali dengan kondisi yang sama untuk mendapatkan data yang valid dan kemudian diambil data yang paling akurat.
3. Sedangkan tahap kedua dilakukan pengetesan dengan melakukan penambahan LPG pada motor. Pada tahap yang kedua ini dilakukan tiga variasi bukaan katup regulator kompor yakni pada bukaan  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ , dan  $360^{\circ}$ . Pada masing variasi bukaan katup, data diambil juga data sebanyak tiga kali.





**Gambar 3.26. Proses Pengambilan Data Dengan Dynamometer**

### 3.4.2 PENGAMBILAN DATA ANALISIS GAS BUANG

Untuk pencatatan data gas buang, pengambilan data ini dilakukan tanpa dan dengan penambahan LPG pada ketiga variasi bukaan katup, putaran mesin yang diuji mulai dari rpm 3000 sampai dengan 7000 pada kenaikan tiap 1000 rpm. *Probe* dimasukan kedalam knalpot dan ketika putaran mesin yang dipilih telah stabil maka data emisi di catat ketika beberapa gas telah menunjukkan % vol dan ppm yang stabil. Pada proses pengambilan data ini putaran *gearbox* diposisikan pada perseneling gigi 1 dengan perbandingan rasio 222,2 : 1.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian ini adalah Pemasangan *probe* ke dalam knalpot paling sedikit sedalam 20 cm. Pengambilan data dengan mengisi tabel pada lembar pengambilan data.

### 3.4.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA KONSUMSI BAHAN BAKAR

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan prosedur sesuai standar yang ada. Prosedur pengambilan data ini merujuk dari SNI 09-4405-1997 untuk uji unjuk kerja jalan dan SNI 09-1400-1995 untuk uji percepatan. Data yang diperoleh merupakan data konsumsi bahan bakar dan percepatan sepeda motor. Selain itu, konsumsi LPG juga diukur.

Pengambilan data dilakukan di lingkungan kampus Universitas Indonesia Depok dengan melakukan pengujian jalan terhadap sepeda motor yang diuji. Pengambilan data dilakukan dengan variasi *venturi mixer* dan bukaan katup gas.

Hasil pengambilan data pada penelitian ini merupakan data terukur. Hal ini disebabkan karena data-data ini tidak mewakili nilai sebenarnya dari suatu parameter yang diukur. Dengan demikian, analisis yang dilakukan terhadap data-data tersebut berdasarkan nilai persentase pengaruh yang dihasilkan untuk setiap variasi *venturi mixer*.

Sebelum dilakukan pengujian, beberapa persiapan perlu dilakukan supaya data yang diperoleh lebih terukur, lebih akurat dan presisi. Persiapan-persiapan tersebut mencakup beberapa pemeriksaan dan pemanasan alat uji seperti :

1. Pemeriksaan kondisi motor secara umum dan pemeriksaan sambungan-sambungan pada sistem penambahan LPG dan saluran bahan bakar.
2. Pemanasan mesin hingga dicapai kondisi operasi dan putaran *idle* selama lebih kurang lima menit.
3. Pengukuran temperatur lingkungan, temperatur oli dan temperatur busi. Pencatatan ini dilakukan setiap sebelum dan sesudah satu set putaran.
4. Pengukuran massa gas LPG. Pencatatan ini dilakukan setiap sebelum dan sesudah satu set putaran.



**Gambar 3.27. Pengukuran Massa Gas**

Prosedur pengambilan data konsumsi bahan bakar pada penelitian ini merujuk pada SNI 09-4405-1997 tentang Cara uji unjuk kerja jalan sepeda motor:

#### **Ruang Lingkup**

Standar ini meliputi kondisi uji, alat uji dan cara uji untuk kerja jalan untuk sepeda motor

#### **Kondisi Uji**

Pengujian ini harus dilakukan dengan kondisi sebagai berikut:

1. Berat pengendara  $55 \pm 5$  kg
2. Kondisi sepeda motor harus sesuai dengan spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengukuran, sepeda motor harus sudah beroperasi pada suhu normalnya.
3. Tempat uji meliputi jalan datar, tanjakan landai, tanjakan tinggi, tikungan, jalan beton, jalan berbatu dan sebagainya.

#### **Alat Uji**

Alat uji unjuk kerja jalan sepeda motor meliputi:

1. Perlengkapan pengukuran konsumsi bahan bakar
2. Alat pencatat waktu otomatis/manual dengan ketelitian minimal 1/100 sekon.
3. Alat pengukur jarak
4. Alat pengukur suhu

### Cara Uji

1. Untuk uji unjuk kerja jalan sepeda motor, jarak yang ditempuh 100 km meliputi jalan datar, tanjakan landai, tanjakan tinggi, tikungan, jalan beton, jalan berbatu dan sebagainya.
2. Pengukuran dilakukan pada setiap kondisi jalan dan pada total kondisi jalan.
3. Pada awal pengujian dan pada setiap perhentian harus diukur dan dicatat mengenai waktu, jarak, konsumsi bahan bakar, suhu besi, suhu minyak pelumas mesin dan transmisi, kondisi jalan dan suhu udara sekitar serta cuaca.
4. Pada saat pengujian, harus diperhatikan terutama pada mesin, kopling, pergantian gigi, pengereman, kemampuan pengendalian, stabilitas kendaraan, percepatan, kenyamanan berkendara dan kondisi jalan.
5. Hasil harus diperhatikan dan dicatat adanya perubahan dari komponen sepeda motor setelah pengujian.
6. Hasil uji harus dimasukkan dalam tabel uji.

Pengambilan data dilakukan sebanyak lima kali pemberhentian untuk setiap variasi *venturi mixer* dan variasi bukaan katup dengan jarak total minimum 100 km. Pada pengujian ini, jarak tempuh setiap pemberhentian adalah 23 km dengan jarak total 115 km.

Pengujian dilakukan dengan kondisi dimana katup gas mulai membuka pada putaran mesin 3000 rpm dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam. Katup gas akan semakin terbuka jika putaran mesin semakin besar sehingga penambahan gas LPG bergantung pada putaran mesin. Semakin besar putaran mesin, semakin besar penambahan gas LPG.

Bukaan katup gas LPG divariasikan sebanyak tiga macam bukaan katup, yaitu bukaan 180°, 270° dan 360°. Metode pengukuran konsumsi bahan bakar minyak dalam setiap pemberhentian adalah dengan mengisi penuh tangki bahan bakar sebelum pengujian, melakukan pengujian, kemudian mengisi kembali tangki bahan bakar dengan gelas ukur dan melihat konsumsi bahan bakar minyak untuk dimasukkan sebagai data. Untuk mengukur konsumsi gas LPG digunakan

timbangan digital dengan mengurangi hasil pengukuran berat gas LPG sebelum pengujian dan setelah pengujian dilakukan.

Hasil dari pengujian yang dilakukan adalah data konsumsi bahan bakar minyak, konsumsi gas, jarak tempuh dan waktu tempuh untuk setiap set putaran. Data-data yang diambil merupakan data untuk setiap variasi *venturi mixer* dan variasi bukaan katup gas.



**Gambar 3.28. Pengujian**

#### **3.4.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA PERCEPATAN SEPEDA MOTOR**

Pengujian percepatan sepeda motor dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk setiap titik pengujian, yaitu 50 m, 100 m, dan 200 m.

Pengujian dilakukan dengan mengambil 2 sampel untuk setiap variasi *venturi mixer* dan variasi bukaan katup gas. Pengujian ini merujuk pada SNI 09-1400-1995 tentang Cara uji percepatan sepeda motor roda dua:

##### **Ruang Lingkup**

Standar ini meliputi kondisi uji, alat uji dan cara uji percepatan untuk sepeda motor roda dua

##### **Kondisi Uji**

Pengujian ini harus dilakukan dengan kondisi sebagai berikut:

- 2.1. Berat pengendara  $55 \pm 5$  kg
- 2.2. Kecepatan angin  $< 3$  m/detik
- 2.3. Kondisi sepeda motor harus sesuai dengan spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengukuran, sepeda motor harus sudah beroperasi pada suhu normalnya.
- 2.4. Tempat uji meliputi jalan lurus, rata, datar dan dikeraskan.

### Alat Uji

Alat uji percepatan sepeda motor roda dua meliputi:

- 3.1. Alat pengukur jarak
- 3.2. Alat pencatat waktu otomatis/manual dengan ketelitian minimal 1/100 detik

### Cara Uji

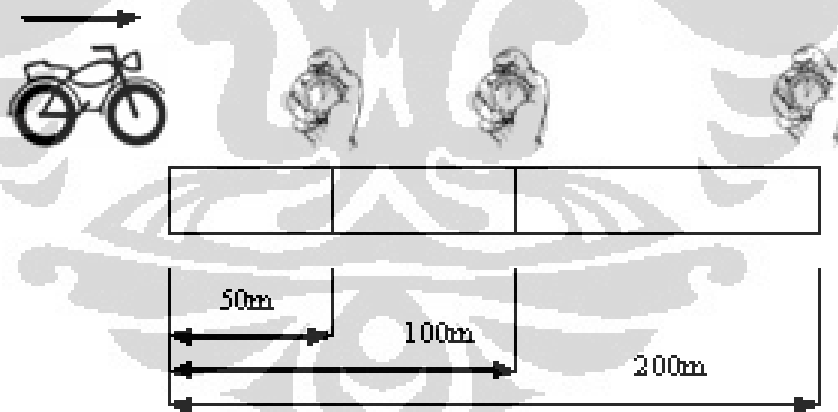
Uji percepatan, dengan kecepatan awal = 0 km/jam

Pengujian ini dilakukan dari sepeda motor dalam keadaan berhenti ( $v = 0$  km/jam), kemudian dijalankan dengan kecepatan penuh, mulai dari gigi yang paling kecil hingga gigi tertentu, untuk menghasilkan percepatan sesegera mungkin dan kecepatan paling optimal sampai titik akhir percepatan.

Pencatatan waktu tempuh dapat dilakukan pada jarak 50 m, 100 m, hingga 200 m dari titik awal 0.

### Data hasil uji dicatat pada tabel uji

Data-data hasil dari pengujian dituliskan ke dalam tabel uji.



**Gambar 3.29. Skema Pengujian Percepatan**

Hasil dari pengujian ini adalah waktu tempuh yang dibutuhkan sepeda motor untuk mencapai setiap titik pengukuran. Dengan pengujian ini dapat diketahui percepatan sepeda motor untuk setiap titik pengujian (50 m, 100 m, dan 200 m).



## BAB 4

### PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA

Peninjauan prestasi mesin pada mesin motor bakar 4-Tak yang mengalami penambahan bahan bakar berupa gas LPG perlu dilakukan untuk mendapatkan pengaruh penggunaan sistem tersebut pada mesin pengujian. Penambahan gas LPG ini pada awalnya bertujuan untuk mempercepat akselerasi, mengurangi kadar emisi gas buang dan mengurangi penggunaan bahan bakar bensin.

#### 4.1 Perhitungan KONSUMSI LPG

Percobaan untuk mengetahui laju aliran massa LPG dilakukan dengan memasang instalasi sistem penginjeksian LPG pada motor uji. Dengan alat bantu berupa timbangan digital merek AND tipe EK-2000i dan stopwatch, data laju aliran gas diambil dengan menggunakan uji unjuk kerja jalan dengan variasi bukaan katup regulator kompor sebesar 180°, 270°, dan 360°. LPG yang digunakan terdiri dari Propana (4,58%), Butana (83,14%) dan gas lain (12,28%) yang diasumsikan sebagai Etana (10,6%) dan Pentana (78,16%). Massa jenis LPG yang digunakan sebesar:

$$\begin{aligned} \rho_{LPG} &= (10,6\% \cdot \rho_{\text{Propana}}) + (78,16\% \cdot \rho_{\text{Butana}}) + (6,12\% \cdot \rho_{\text{Etana}}) + (6,12\% \cdot \rho_{\text{Pentana}}) \\ \rho_{LPG} &= (0.106 \cdot 585) + (0.7816 \cdot 601) + (0.0612 \cdot 572) + (0.0612 \cdot 626) \\ \rho_{LPG} &= 605.0692 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

**Tabel 4.3. Konsumsi LPG Pada Bukaan Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2362	7.2	0.349514563	0.003048264
20.6 – 41.2	2358	7.3	0.354368932	0.003095844
41.2 – 61.8	2370	6.9	0.334951456	0.002911392
61.8 – 82.4	2354	7.1	0.344660194	0.003016143
82.4 – 103	2366	7.5	0.36407767	0.003169907
TOTAL	11810	36	1.747572816	0.01524155
RATA-RATA	2362	7.2	0.349514563	0.00304831



**Tabel 4.4. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2366	4.6	0.223300971	0.00194421
20.6 – 41.2	2330	4.8	0.233009709	0.002060086
41.2 – 61.8	2394	4.9	0.237864078	0.002046784
61.8 – 82.4	2376	4.4	0.213592233	0.001851852
82.4 – 103	2348	4.3	0.208737864	0.001831346
TOTAL	11814	23	1.116504854	0.009734277
RATA-RATA	2362.8	4.6	0.223300971	0.001946855

**Tabel 4.5. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2322	5	0.242718447	0.002153316
20.6 – 41.2	2348	5.7	0.276699029	0.002427598
41.2 – 61.8	2364	5.2	0.252427184	0.002199662
61.8 – 82.4	2388	4.3	0.208737864	0.00180067
82.4 – 103	2392	4.8	0.233009709	0.002006689
TOTAL	11814	25	1.213592233	0.010587935
RATA-RATA	2362.8	5	0.242718447	0.002117587

**Tabel 6.4. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2414	1.8	0.087378641	0.00074565
20.6 – 41.2	2402	2.2	0.106796117	0.000915903
41.2 – 61.8	2422	2.6	0.126213592	0.001073493
61.8 – 82.4	2394	2.1	0.101941748	0.000877193
82.4 – 103	2468	2.8	0.13592233	0.001134522
TOTAL	12100	11.5	0.558252427	0.004746762
RATA-RATA	2420	2.3	0.111650485	0.000949352

**Tabel 4.7. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2480	3	0.145631068	0.001209677
20.6 – 41.2	2466	2.3	0.111650485	0.000932685
41.2 – 61.8	2402	2.5	0.121359223	0.001040799
61.8 – 82.4	2428	1.9	0.09223301	0.000782537
82.4 – 103	2404	2.9	0.140776699	0.001206323
TOTAL	12180	12.6	0.611650485	0.005172021
RATA-RATA	2436	2.52	0.122330097	0.001034404

**Tabel 4.8. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2394	2	0.097087379	0.000835422
20.6 – 41.2	2402	2.4	0.116504854	0.000999167
41.2 – 61.8	2398	2.6	0.126213592	0.001084237
61.8 – 82.4	2408	2.1	0.101941748	0.000872093
82.4 – 103	2448	2.9	0.140776699	0.001184641
TOTAL	12050	12	0.582524272	0.00497556
RATA-RATA	2410	2.4	0.116504854	0.000995112

**Tabel 4.9. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2462	2.6	0.126213592	0.001056052
20.6 – 41.2	2426	2.8	0.13592233	0.001154163
41.2 – 61.8	2396	3.1	0.150485437	0.001293823
61.8 – 82.4	2380	2	0.097087379	0.000840336
82.4 – 103	2402	3.2	0.155339806	0.001332223
TOTAL	12066	13.7	0.665048544	0.005676598
RATA-RATA	2413.2	2.74	0.133009709	0.00113532

**Tabel 4.10. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2384	2	0.097087379	0.000838926
20.6 – 41.2	2380	2.3	0.111650485	0.000966387
41.2 – 61.8	2406	2.5	0.121359223	0.001039069
61.8 – 82.4	2420	2	0.097087379	0.000826446
82.4 – 103	2396	2.7	0.131067961	0.001126878
TOTAL	11986	11.5	0.558252427	0.004797706
RATA-RATA	2397.2	2.3	0.111650485	0.000959541

**Tabel 4.11. Konsumsi LPG Pada Bukaannya Katup Regulator 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi Rata-Rata (gr/km)	Laju Aliran (gr/s)
0 – 20.6	2416	2	0.097087379	0.000827815
20.6 – 41.2	2468	2.8	0.13592233	0.001134522
41.2 – 61.8	2400	2.3	0.111650485	0.000958333
61.8 – 82.4	2376	2.1	0.101941748	0.000883838
82.4 – 103	2374	2.4	0.116504854	0.001010952
TOTAL	12034	11.6	0.563106796	0.00481546
RATA-RATA	2406.8	2.32	0.112621359	0.000963092

#### 4.2 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Proses pengambilan data konsumsi bahan bakar dilakukan dengan uji unjuk kerja jalan sepeda motor. Data diambil pada kondisi motor tanpa penambahan LPG dan dengan penambahan LPG pada tiga variasi bukaan katup, 180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, dan 360<sup>0</sup>. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.12. Konsumsi Bahan Bakar Tanpa Campuran LPG**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2209	442	0.021456311	0.000200091
20.6 – 41.2	2221	434	0.021067961	0.000195407
41.2 – 61.8	2263	448	0.021747573	0.000197967
61.8 – 82.4	2247	440	0.021359223	0.000195817
82.4 – 103	2195	422	0.020485437	0.000192255
TOTAL	11135	2186	0.106116505	0.000981537
RATA-RATA	2227	437.2	0.021223301	0.000196307

**Tabel 4.13. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2362	344	0.016699029	0.000145639
20.6 – 41.2	2358	348	0.016893204	0.000147583
41.2 – 61.8	2370	344	0.016699029	0.000145148
61.8 – 82.4	2354	340	0.016504854	0.000144435
82.4 – 103	2366	344	0.016699029	0.000145393
TOTAL	11810	1720	0.083495146	0.000728198
RATA-RATA	2362	344	0.016699029	0.00014564

**Tabel 4.14. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2366	342	0.016601942	0.000144548
20.6 – 41.2	2330	339	0.016456311	0.000145494
41.2 – 61.8	2394	340	0.016504854	0.000142022
61.8 – 82.4	2376	344	0.016699029	0.000144781
82.4 – 103	2348	345	0.016747573	0.000146934
TOTAL	11814	1710	0.083009709	0.000723778
RATA-RATA	2362.8	342	0.016601942	0.000144756

**Tabel 4.15. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahkan LPG Dengan Bukaannya Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 9mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2322	336	0.01631068	0.000144703
20.6 – 41.2	2348	334	0.016213592	0.000142249
41.2 – 61.8	2364	332	0.016116505	0.00014044
61.8 – 82.4	2388	340	0.016504854	0.000142379
82.4 – 103	2392	338	0.016407767	0.000141304
TOTAL	11814	1680	0.081553398	0.000711074
RATA-RATA	2362.8	336	0.01631068	0.000142215

**Tabel 4.16. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahkan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2414	486	0.023592233	0.000201326
20.6 – 41.2	2402	394	0.019126214	0.00016403
41.2 – 61.8	2422	390	0.018932039	0.000161024
61.8 – 82.4	2394	408	0.019805825	0.000170426
82.4 – 103	2468	400	0.019417476	0.000162075
TOTAL	12100	2078	0.100873786	0.00085888
RATA-RATA	2420	415.6	0.020174757	0.000171776

**Tabel 4.17. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahkan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2480	484	0.023495146	0.000195161
20.6 – 41.2	2466	411	0.019951456	0.000166667
41.2 – 61.8	2402	402	0.019514563	0.000167361
61.8 – 82.4	2428	391	0.018980583	0.000161038
82.4 – 103	2404	389	0.018883495	0.000161814
TOTAL	12180	2077	0.100825243	0.00085204
RATA-RATA	2436	415.4	0.020165049	0.000170408

**Tabel 4.18. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 11mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2394	394	0.019126214	0.000164578
20.6 – 41.2	2402	382	0.018543689	0.000159034
41.2 – 61.8	2398	402	0.019514563	0.00016764
61.8 – 82.4	2408	388	0.018834951	0.00016113
82.4 – 103	2448	394	0.019126214	0.000160948
TOTAL	12050	1960	0.095145631	0.000813329
RATA-RATA	2410	392	0.019029126	0.000162666

**Tabel 4.19. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 180° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2462	404	0.01961165	0.000164094
20.6 – 41.2	2426	396	0.019223301	0.000163232
41.2 – 61.8	2396	402	0.019514563	0.00016778
61.8 – 82.4	2380	400	0.019417476	0.000168067
82.4 – 103	2402	374	0.01815534	0.000155704
TOTAL	12066	1976	0.09592233	0.000818876
RATA-RATA	2413.2	395.2	0.019184466	0.000163775

**Tabel 4.20. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahan LPG Dengan Bukaannya Katup 270° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyelang Dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2384	418	0.020291262	0.000175336
20.6 – 41.2	2380	392	0.019029126	0.000164706
41.2 – 61.8	2406	402	0.019514563	0.000167082
61.8 – 82.4	2420	396	0.019223301	0.000163636
82.4 – 103	2396	408	0.019805825	0.000170284
TOTAL	11986	2016	0.097864078	0.000841044

RATA-RATA	2397.2	403.2	0.019572816	0.000168209
-----------	--------	-------	-------------	-------------

**Tabel 4.21. Konsumsi Bahan Bakar Dengan Tambahkan LPG Dengan Buka-an Katup 360° Untuk Venturi Mixer 12 Lubang Menyilang Dengan *Bluff Body* Silinder 13mm**

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (mL)	Konsumsi Rata-Rata (l/km)	Laju Aliran (l/s)
0 – 20.6	2416	418	0.020291262	0.000173013
20.6 – 41.2	2468	410	0.019902913	0.000166126
41.2 – 61.8	2400	402	0.019514563	0.0001675
61.8 – 82.4	2376	398	0.019320388	0.000167508
82.4 – 103	2374	418	0.020291262	0.000176074
TOTAL	12034	2046	0.099320388	0.000850222
RATA-RATA	2406.8	409.2	0.019864078	0.000170044

#### 4.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Campuran Bahan Bakar

Untuk penghitungan laju aliran massa campuran bahan bakar dan laju aliran massa udara dibutuhkan penghitungan parameter-parameter, berikut contoh perhitungannya:

##### a) Daya Keluaran / Brake Horse Power (BHP)

$$BHP = \frac{Torsi(ft/lbs) \times rpm}{5252} \quad (hp)$$

Torsi =  $F \cdot r$  ; dengan  $F$  = tractive effort (lb)

$r$  = lengan momen = 0,03925 ft

$$Torsi_{TANPA\ LPG} = 119 \cdot 0,03925 = 4.67075 \text{ ft/lbs}$$

$$Torsi_{180^\circ\ SILINDER\ 13mm} = 137 \cdot 0,03925 = 5.37725 \text{ ft/lbs}$$

$$Torsi_{270^\circ\ SILINDER\ 13mm} = 142 \cdot 0,03925 = 5.5735 \text{ ft/lbs}$$

$$Torsi_{360^\circ\ SILINDER\ 13mm} = 139 \cdot 0,03925 = 5.45575 \text{ ft/lbs}$$

Akan dihasilkan BHP sebesar:

$$BHP_{TANPA\ LPG} = \frac{4.67075 \times 6222}{5252} = 5.5 \text{ hp}$$

$$BHP_{180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = \frac{5.37725 \times 6222}{5252} = 6.4 \text{ hp}$$

$$BHP_{270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = \frac{5.5735 \times 6222}{5252} = 6.6 \text{ hp}$$

$$BHP_{360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = \frac{5.45575 \times 6222}{5252} = 6.4 \text{ hp}$$

**Tabel 4.22. BHP Tanpa LPG**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4000	2.8	3.6503
4444	3.2	3.8465
4889	3.9	4.1998
5333	4.5	4.4745
5777	5.1	4.6315
6222	5.5	4.6708
6666	6.1	4.8278
7111	6.4	4.7885
7555	6.8	4.7885
8000	7.1	4.6315
8444	7.5	4.6708
8888	7.6	4.5138
9333	7.7	4.3175

**Tabel 4.23. BHP Penambahan LPG Buka an Katup 180° (Tanpa *Bluff Body*, *Bluff Body* Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Datar)**

***Bluff Body* Silinder 9mm**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3.3	3.8858
4889	4	4.3568

***Bluff Body* Datar**

RPM	Power	Torsi
rpm	HP	ft Lb
3555	2.6	3.6895
4000	2.9	3.7680



5333	4.7	4.6315
5777	5.4	4.9063
6222	6	5.0633
6666	6.5	5.1025
7111	6.9	5.1025
7555	7.4	5.1810
8000	7.8	5.1418
8444	8	4.9848
8888	8.1	4.7885
9333	8	4.5138
9777	8	4.2783

4444	3.3	3.9250
4889	3.9	4.1998
5333	4.5	4.4745
5777	5.2	4.7493
6222	5.8	4.9063
6666	6.4	5.0633
7111	6.9	5.1025
7555	7.4	5.1418
8000	7.9	5.1810
8444	8.2	5.0633
8888	8.3	4.9063
9333	8.3	4.6708
9777	8.2	4.4353
10222	8.1	4.1605
10666	8	3.9250

**Bluff Body Silinder 11mm**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3.5	4.1605
4889	4.6	4.9848
5333	5.4	5.3773
5777	6.2	5.6128
6222	6.9	5.8483
6666	7.6	6.0053
7111	8	5.9268
7555	8.4	5.8875
8000	8.9	5.8090
8444	8.6	5.3773
8888	8.2	4.8278

**Bluff Body Silinder 13mm**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3.2	3.8073
4889	4.5	4.8278
5333	5.2	5.1418
5777	5.7	5.2203
6222	6.4	5.3773
6666	6.9	5.4558
7111	7.2	5.3380
7555	7.8	5.4558
7812	8.3	5.5735
8000	7.7	5.0633

**Tabel 4.24. BHP Penambahan LPG Buka an Katup 270° (Tanpa *Bluff Body*,  
*Bluff Body* Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Datar)**

***Bluff Body Datar***

RPM	Power	Torsi
rpm	HP	ft Lb
4000	2.7	3.4540
4444	3.3	3.8858
4889	3.9	4.1998
5333	4.5	4.4745
5777	5.2	4.7493
6222	5.9	4.9455
6666	6.4	5.0633
7111	6.9	5.1418
7555	7.5	5.1810
8000	7.9	5.1810
8444	8.2	5.1025
8888	8.4	4.9455
9333	8.5	4.7885
9777	8.4	4.5138
10222	8.1	4.1998
10666	8	3.9250
11111	7.6	3.6110

***Bluff Body Silinder 9mm***

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4889	3.7	3.9643
5333	4.5	4.5138
5777	5.2	4.7885
6222	5.9	4.9848
6666	6.4	5.0633
7111	6.8	5.0240
7555	7.4	5.1418
8000	7.8	5.1810
8444	8.1	5.0633
8888	8.1	4.8278
9333	8.2	4.6315
9777	8.1	4.3568
10222	7.7	3.9643

***Bluff Body Silinder 11mm***

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3.2	3.7680
4889	4.6	5.0240
5333	5.6	5.5343

***Bluff Body Silinder 13mm***

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	2.6	3.1008
4889	4.3	4.6315
5333	5.2	5.1025

5777	6.4	5.8090
6222	7.1	6.0445
6666	7.7	6.1230
7111	8.1	6.0053
7555	8.6	5.9660
8000	8.9	5.8875
8280	9	5.6913
8444	8.9	5.5343
8888	8.1	4.8278

5777	6	5.4165
6222	6.6	5.5735
6666	6.7	5.2988
7111	6.8	4.9848
7555	7.7	5.3773
7898	8.2	5.4558
8000	7.8	5.1810

**Tabel 4.25. BHP Penambahan LPG Buka an Katup 360° (Tanpa *Bluff Body*, *Bluff Body* Silinder 9mm, 11mm, 13mm, dan Bertingkat)**

***Bluff Body* Bertingkat**

***Bluff Body* Silinder 9mm**

RPM	Power	Torsi
rpm	HP	ft Lb
4000	2.8	3.6503
4444	3.4	3.9643
4889	4	4.2390
5333	4.6	4.5138
5777	5.2	4.7885
6222	5.8	4.9455
6666	6.4	5.0633
7111	6.9	5.1025
7555	7.5	5.1810
8000	7.9	5.1810
8444	8.2	5.1418
8888	8.4	4.9848
9333	8.5	4.7493
9777	8.3	4.4353
10222	8	4.1213
10666	7.8	3.8465

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3.2	3.7680
4889	3.8	4.1213
5333	4.5	4.4745
5777	5.2	4.7885
6222	5.9	4.9455
6666	6.4	5.0240
7111	6.8	5.0240
7555	7.4	5.1418
8000	7.8	5.1418
8444	8.1	5.0240
8888	8.2	4.8670
9333	8.1	4.5923
9777	8	4.3175
10222	7.7	3.9643

11111	7.6	3.5718
-------	-----	--------

### **Bluff Body Silinder 11mm**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4889	4.2	4.4745
5333	5.3	5.2203
5777	6.1	5.5735
6222	7	5.9268
6666	7.9	6.2408
7111	8.5	6.2800
7555	8.9	6.2015
8000	9.1	6.0053
8444	9.2	5.6913
8888	9.1	5.3380

### **Bluff Body Silinder 13mm**

RPM	Power	Torsi
RPM	HP	ft lb
4444	3	3.5718
4889	4.5	4.8670
5333	5.4	5.3773
5777	6.1	5.5343
6222	6.4	5.4558
6666	6.7	5.2988
7111	7.3	5.4165
7555	8.1	5.6128
8000	8.5	5.6128

#### **b) Pertamax**

Laju aliran bahan bakar ( $\dot{m}_{f_{bensin}}$ )

$$\dot{m}_{f_{bensin}} = \frac{L}{s} \times 3600 \text{ (L/h)}$$

sehingga

$$\dot{m}_{f_{bensin}}^{\text{TANPA LPG}} = 0.000196 \times 3600 = 0.7056 \text{ L/h}$$

$$\dot{m}_{f_{bensin}}^{180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = 0.0001794 \times 3600 = 0.6459 \text{ L/h}$$

$$\dot{m}_{f_{bensin}}^{270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = 0.000175 \times 3600 = 0.6332 \text{ L/h}$$

$$\dot{m}_{f_{bensin}}^{360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm}} = 0.000162 \times 3600 = 0.5856 \text{ L/h}$$

### Konsumsi Bahan Bakar Spesifik / Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

$$BSFC = \frac{m_{f_{ben\ sin}}}{BHP} \times \rho_f \quad (\text{gr/hp.h})$$

Dimana  $\rho_{f_{ben\ sin}}$  = massa jenis bensin = 742.5 gr/L

sehingga :

$$BSFC_{TANPA\ LPG} = \frac{0.7056}{4.3} \times 742.5 = 121.8391 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{180^\circ\ SILINDER\ 13mm} = \frac{0.6459}{6.4} \times 742.5 = 74.9295 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{270^\circ\ SILINDER\ 13mm} = \frac{0.6332}{6.6} \times 742.5 = 71.2293 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{360^\circ\ SILINDER\ 13mm} = \frac{0.5856}{6.4} \times 742.5 = 67.9384 \text{ gr/hp.h}$$

### c) Liquid Petroleum Gas (LPG)

$$m_{f_{gas}} = \frac{FC \cdot 3600}{\rho_{LPG}} \quad (\text{L/h})$$

sehingga didapat nilai FC LPG sebesar:

$$m_{f_{gas}}^{180^\circ} = \frac{0.0013532 \times 3600}{605.0692} = 0.00675 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{gas}}^{270^\circ} = \frac{0.0009595 \times 3600}{605.0692} = 0.00571 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{gas}}^{360^\circ} = \frac{0.00096309 \times 3600}{605.0692} = 0.00573 \text{ L/h}$$

### Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

$$BSFC = \frac{m_{f_{gas}}}{BHP} \times \rho_{f_{gas}} \quad (\text{gr/hp.h})$$

Dimana  $\rho_f$  = massa jenis LPG = 605.0692 gr/L

sehingga :

$$BSFC_{LPG\ 180\ SILINDER\ 13mm}^0 = \frac{0.00675}{6.4} \times 605.0692 = 0.6386\ \text{gr/hp.h}$$

$$BSFC_{LPG\ 270\ SILINDER\ 13mm}^0 = \frac{0.00571}{6.6} \times 605.0692 = 0.5234\ \text{gr/hp.h}$$

$$BSFC_{LPG\ 360\ SILINDER\ 13mm}^0 = \frac{0.00573}{6.4} \times 605.0692 = 0.5417\ \text{gr/hp.h}$$

Laju aliran massa yang masuk kedalam ruang bakar merupakan penjumlahan dari laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran udara.

- **Laju aliran massa campuran bahan bakar**

$$m_f^0 = \frac{m_{f\ ben\ sin}^0 \times \rho_{ben\ sin}^0}{3600 \times 1000} + \frac{m_{f\ LPG}^0 \times \rho_{LPG}^0}{3600 \times 1000}$$

$$m_{f\ TANPA\ LPG}^0 = \frac{0.7056 \times 742.5}{3600 \times 1000} = 1.45 \times 10^{-4}\ \text{kg/s}$$

$$\begin{aligned} m_{f\ LPG\ 180\ SILINDER\ 13mm}^0 &= \frac{0.6459 \times 742.5}{3600 \times 1000} + \frac{0.00675 \times 605.0652}{3600 \times 1000} \\ &= (1.3321 + 0.01135) \times 10^{-4} \\ &= 1.34345 \times 10^{-4}\ \text{kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{f\ LPG\ 270\ SILINDER\ 13mm}^0 &= \frac{0.6331 \times 742.5}{3600 \times 1000} + \frac{0.00571 \times 605.0652}{3600 \times 1000} \\ &= (1.3059 + 0.009595) \times 10^{-4} \\ &= 1.315 \times 10^{-4}\ \text{kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{f\ LPG\ 360\ SILINDER\ 13mm}^0 &= \frac{0.5855 \times 742.5}{3600 \times 1000} + \frac{0.00573 \times 605.0652}{3600 \times 1000} \\ &= (1.2078 + 0.009631) \times 10^{-4} \\ &= 1.2174 \times 10^{-4}\ \text{kg/s} \end{aligned}$$

- **laju aliran massa udara**

$$m_a^0 = AFR \times m_f^0$$

$$m_a^0\ TANPA\ LPG = 13.4 \times 1.45 \times 10^{-4}\ \text{kg/s} = 19.43 \times 10^{-4}\ \text{kg/s}$$

$$\dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} = 10.7 \times 1.34345 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 14.374 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} = 10.7 \times 1.315 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 14.07 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} = 10.7 \times 1.217 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 13.02 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

Sehingga laju aliran massa yang melewati *intake* adalah :

$$\begin{aligned} \dot{m}_i^{\circ} \text{ TANPA LPG} &= \dot{m}_f^{\circ} \text{ TANPA LPG} + \dot{m}_a^{\circ} \text{ TANPA LPG} \\ &= 1.45 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 19.43 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\ &= 20.88 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_i^{\circ} \text{ LPG } 180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} &= \dot{m}_f^{\circ} \text{ LPG } 180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} + \dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 180^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} \\ &= 1.34345 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 14.374 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\ &= 15.7184 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_i^{\circ} \text{ LPG } 270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} &= \dot{m}_f^{\circ} \text{ LPG } 270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} + \dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 270^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} \\ &= 1.315 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 14.075 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\ &= 15.3913 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_i^{\circ} \text{ LPG } 360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} &= \dot{m}_f^{\circ} \text{ LPG } 360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} + \dot{m}_a^{\circ} \text{ LPG } 360^{\circ} \text{ SILINDER } 13\text{mm} \\ &= 1.217 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 13.026 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\ &= 14.2439 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

#### 4.4 PERHITUNGAN AKSELERASI

Proses pengambilan data akselerasi sepeda motor dilakukan dengan melakukan uji percepatan sepeda motor roda dua sesuai dengan SNI 09-1400-1995. Data diambil pada kondisi motor tanpa penambahan LPG dan dengan penambahan LPG pada tiga variasi bukaan katup, 180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, dan 360<sup>0</sup>.

Data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.26. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaannya Katup 180°**

Jarak (m)	Waktu	Pertamax	S9 B180	S11 B180	S13 B180
50	t1 (s)	5.6	5.9	5.6	6.3
	t2 (s)	5.7	5.7	5.6	6.3
	Rata-Rata (s)	5.65	5.8	5.6	6.3
	a (m/s <sup>2</sup> )	3.13	2.97	3.19	2.52
100	t1 (s)	8.6	8.6	8.4	9.4
	t2 (s)	8.7	8.7	8.8	9.4
	Rata-Rata (s)	8.65	8.65	8.6	9.4
	a (m/s <sup>2</sup> )	2.67	2.67	2.70	2.26
200	t1 (s)	14.3	13.4	13.4	15.3
	t2 (s)	14.4	14.2	13.3	15.3
	Rata-Rata (s)	14.35	13.8	13.35	15.3
	a (m/s <sup>2</sup> )	1.94	2.10	2.24	1.71

**Tabel 4.27. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaannya Katup 270°**

Jarak (m)	Waktu	Pertamax	S9 B270	S11 B270	S13 B270
50	t1 (s)	5.6	5.6	5.7	6.6
	t2 (s)	5.7	5.7	5.6	6.6
	Rata-Rata (s)	5.65	5.65	5.65	6.6
	a (m/s <sup>2</sup> )	3.13	3.13	3.13	2.30
100	t1 (s)	8.6	8.3	8.7	9.5
	t2 (s)	8.7	8.4	8.4	9.5
	Rata-Rata (s)	8.65	8.35	8.55	9.5
	a (m/s <sup>2</sup> )	2.67	2.87	2.74	2.22



200	t1 (s)	14.3	12.7	13.4	14.8
	t2 (s)	14.4	13.2	13.6	14.8
	Rata-Rata (s)	14.35	12.95	13.5	14.8
	a (m/s <sup>2</sup> )	1.94	2.39	2.19	1.83

**Tabel 4.28. Akselerasi Sepeda Motor Pada Bukaan Katup 360<sup>0</sup>**

Jarak (m)	Waktu	Pertamax	S9 B360	S11 B360	S13 B360
50	t1 (s)	5.6	5.4	6	6.7
	t2 (s)	5.7	5.4	6	6.7
	Rata-Rata (s)	5.65	5.4	6	6.7
	a (m/s <sup>2</sup> )	3.13	3.43	2.78	2.23
100	t1 (s)	8.6	7.9	9	9.6
	t2 (s)	8.7	8.1	9.2	9.6
	Rata-Rata (s)	8.65	8	9.1	9.6
	a (m/s <sup>2</sup> )	2.67	3.13	2.42	2.17
200	t1 (s)	14.3	12.8	13.9	15.3
	t2 (s)	14.4	12.9	13.7	15.3
	Rata-Rata (s)	14.35	12.85	13.8	15.3
	a (m/s <sup>2</sup> )	1.94	2.42	2.10	1.71

## BAB 5

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 ANALISIS PRESTASI MESIN

Grafik-grafik yang akan ditampilkan berikut ini adalah hasil grafik *snapshot* yang bekerja secara *real time* terhadap karakter dari mesin yang diuji. Segala perhitungan yang diinginkan seperti halnya *horse power*, rpm, torsi, AFR (*Air/Fuel Ratio*) dan sebagainya dapat secara langsung dihasilkan oleh alat *dyno test dynodynamics* ini, sehingga hasil data yang didapat bisa dikatakan merupakan hasil prestasi mesin yang sesungguhnya.

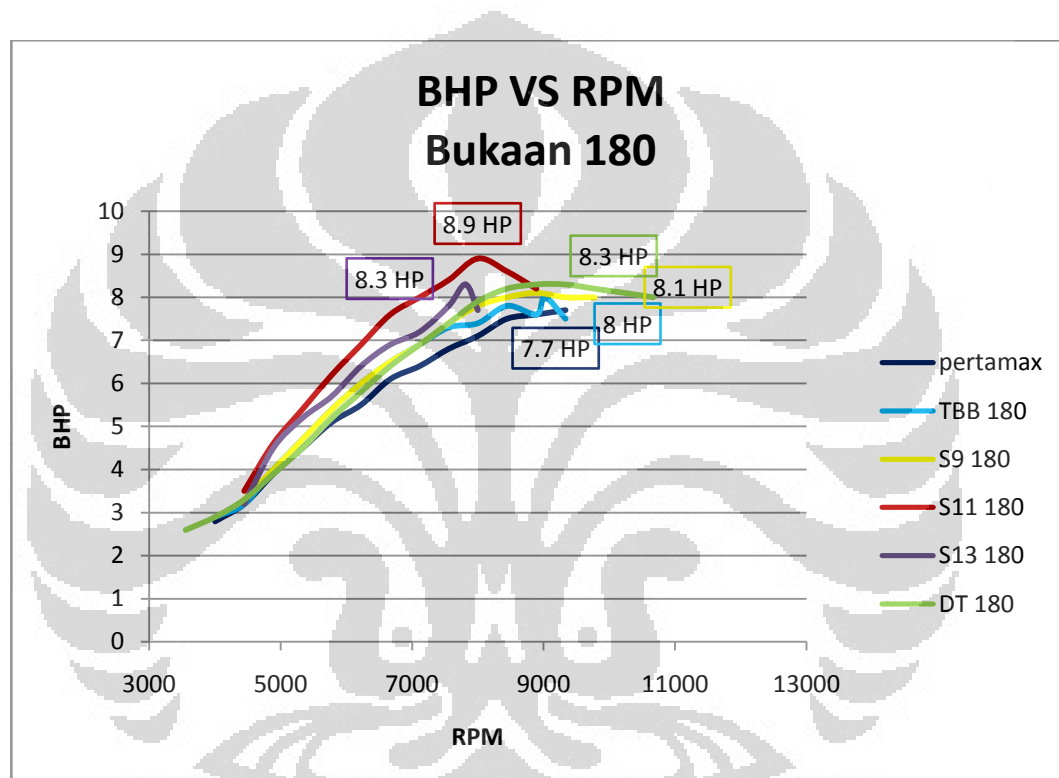
##### 5.1.1 ANALISIS PERBANDINGAN BHP

Hasil perhitungan daya mesin yang dihasilkan oleh dinamometer berupa BHP (*Brake Horse Power*) yang merupakan perhitungan daya kuda yang dikeluarkan oleh roda terhadap *roller* dinamometer. BHP adalah daya kuda yang dihasilkan oleh motor setelah dikurangi kerugian (*losses*) yang terjadi selama penyaluran daya, baik dari *heat loss* pada mesin atau juga yang dapat disebabkan gesekan ban dengan *roller* maupun antara rantai dengan sproket dan kerugian-kerugian yang lainnya.

Sedangkan torsi yang digunakan pada analisis didapat dengan cara mengalikan nilai *tractive effort* yang terdapat pada *snapshot* dengan besarnya lengan momen pada *roller* dinamometer (sebesar 0,03925 ft). Hal ini dikarenakan pada *snapshot* tidak didapatkan nilai torsi yang dicapai dan *tractive effort* yang terdapat pada *snapshot* merupakan gaya yang dikeluarkan oleh dinamometer untuk menahan gaya yang dihasilkan oleh roda. Sehingga besarnya torsi yang dihasilkan oleh *roller* akan sama dengan torsi yang dihasilkan oleh roda.

Pada tabel-tabel BHP diatas, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan daya maksimum dan torsi mesin pada saat penambahan LPG baik dengan menggunakan *venturi mixer* 12 lubang menyilang tanpa *bluff body* maupun dengan menggunakan *bluff body* silinder dengan variasi diameter pada tiap-tiap

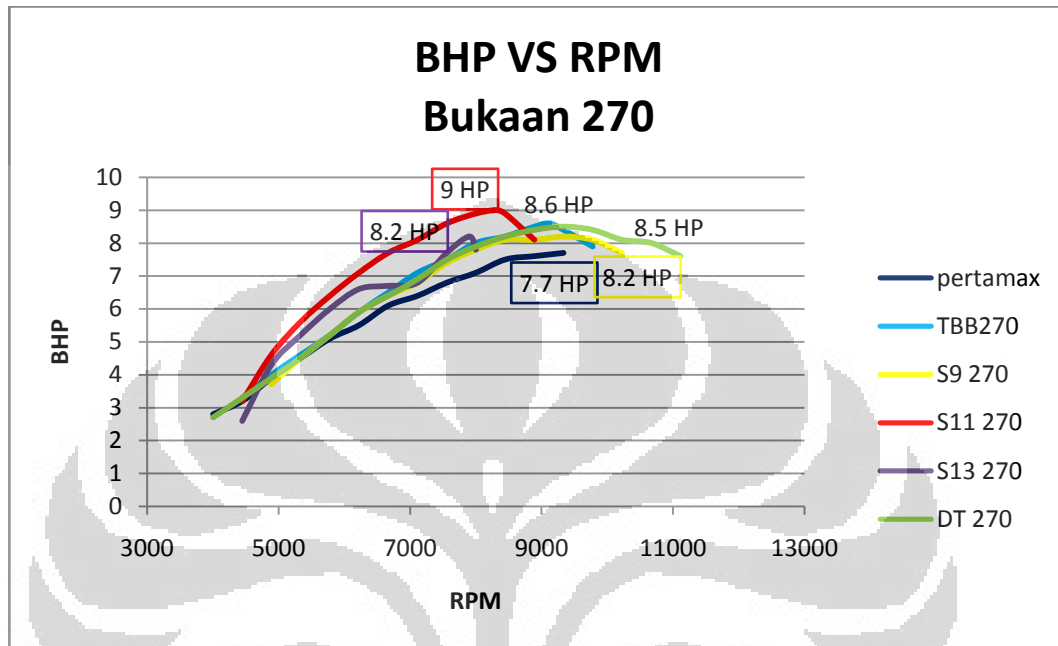
bukaan katup ( $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ , dan  $360^{\circ}$ ) dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG. Hal ini sesuai dengan teori, karena saat penambahan LPG diharapkan pembakaran didalam ruang bakar terjadi lebih cepat karena LPG memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dan didalam ruang bakar LPG akan terbakar lebih dulu dibandingkan bensin karena LPG berbentuk gas sehingga cepat bercampur dengan udara dibandingkan bensin yang berbentuk cair dan butuh pengabutan yang baik didalam karburator.



**Grafik 5.1 Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup  $180^{\circ}$**

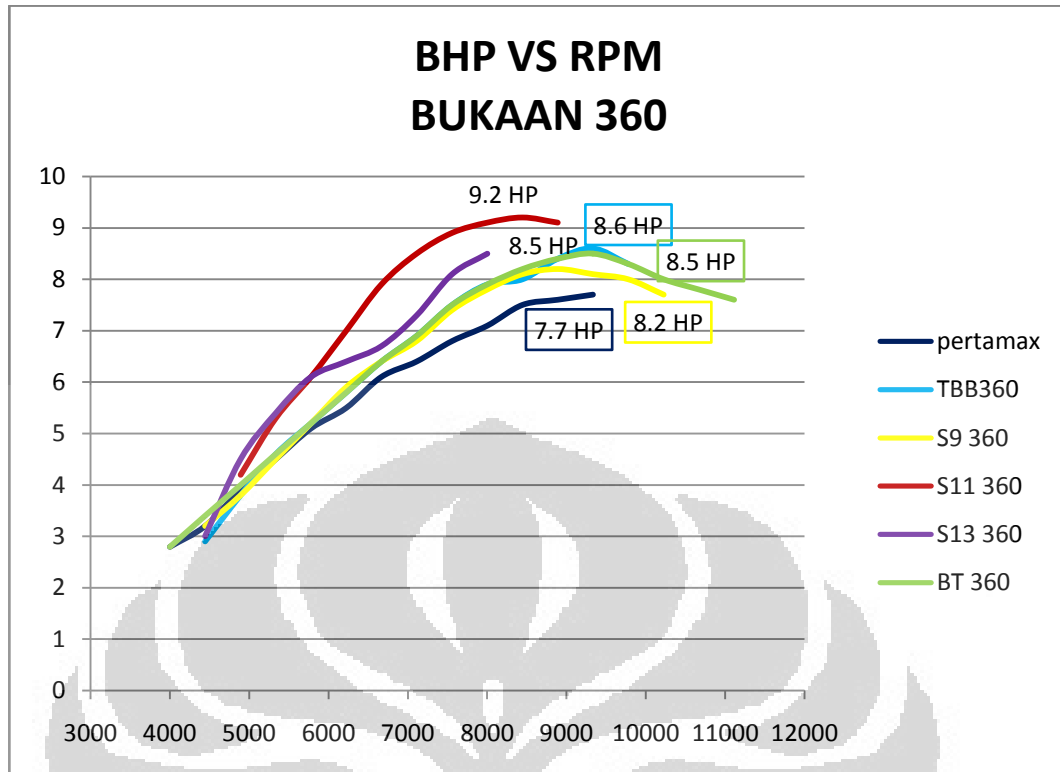
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa pada bukaan katup  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ , dan  $360^{\circ}$  memiliki daya yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG. Namun jika dilihat perbandingan antar *venturi mixer* 12 lubang menyilang terlihat bahwa daya maksimum yang keluar terjadi di *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm yaitu sebesar 8.9 HP sedangkan pada *venturi mixer bluff body* silinder diameter 9 mm, silinder diameter 13 mm dan Tanpa *Bluff Body* masing – masing bernilai 8.1 HP, 8.3 HP, dan 8 HP. Hal ini terjadi karena AFR pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm memiliki nilai yang

paling optimal dibanding venturi *mixer* lainnya, sehingga menyebabkan pembakaran lebih sempurna dan menyebabkan daya keluaran memiliki nilai lebih baik dibandingkan venturi *mixer* lainnya.



**Grafik 5.2 Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup 270°**

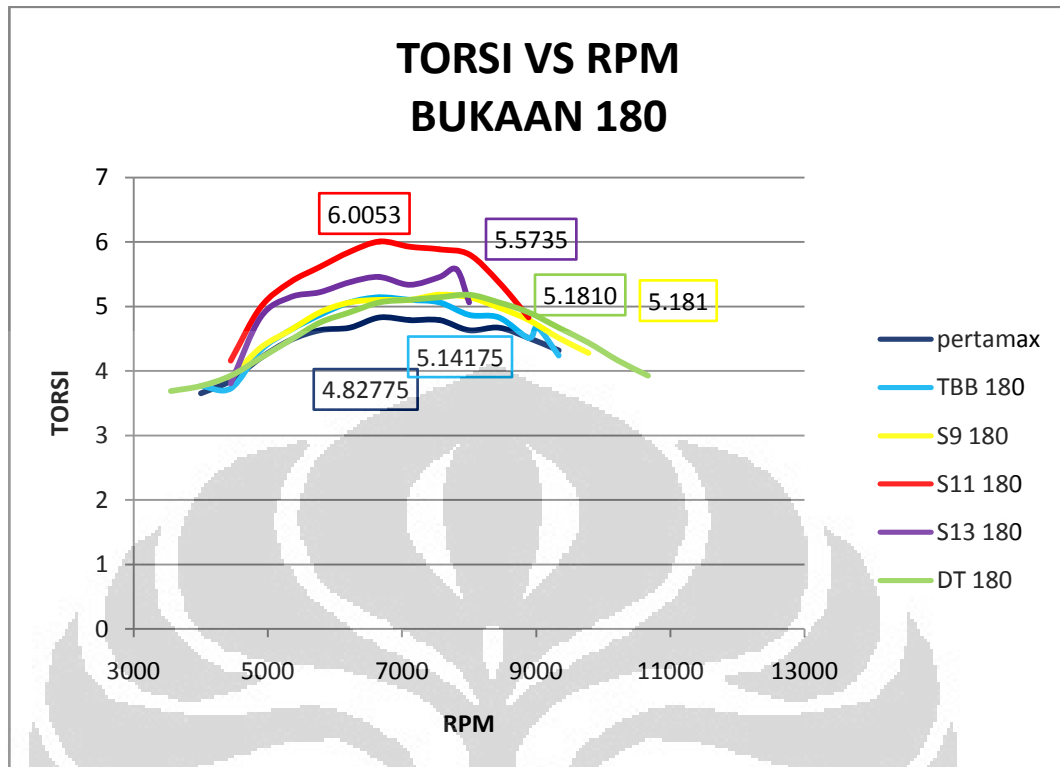
Dari grafik di atas, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG pada bukaan 270° lebih besar daripada motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa pada bukaan 270°, gas dan udara telah bercampur baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dari motor tanpa penambahan LPG dan motor dengan penggunaan *venturi mixer* pada bukaan 180°. Daya yang paling besar dihasilkan oleh *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm yaitu sebesar 9 HP, sedangkan pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9 mm, *bluff body* silinder diameter 13 mm, dan Tanpa *Bluff Body* diperoleh daya masing-masing sebesar 8.2 HP, 8.2 HP, dan 8.6 HP. Hal ini dapat dikarenakan AFR pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm lebih baik dari pada *venturi mixer* lainnya.



**Grafik 5.3** Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup 360°

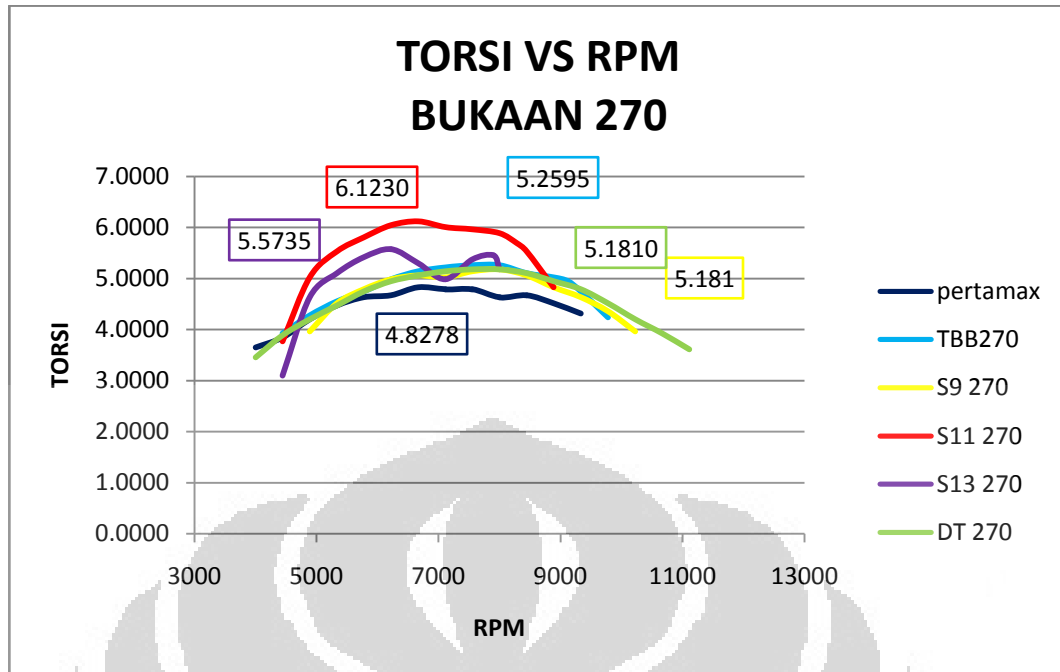
Dari grafik di atas, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG pada bukaan 360° lebih besar daripada motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa pada bukaan 360°, gas dan udara telah bercampur baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan motor tanpa penambahan LPG. Daya yang paling besar dihasilkan oleh *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm yaitu sebesar 9.2 HP, sedangkan pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9 mm, *bluff body* silinder diameter 13 mm, dan Tanpa *bluff body* diperoleh daya masing-masing sebesar 8.2 HP, 8.5 HP, dan 8.6 HP. Hal ini dapat dikarenakan AFR pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 mm lebih baik dari pada *venturi mixer* lainnya.

### 5.1.2 Analisis perbandingan Torsi



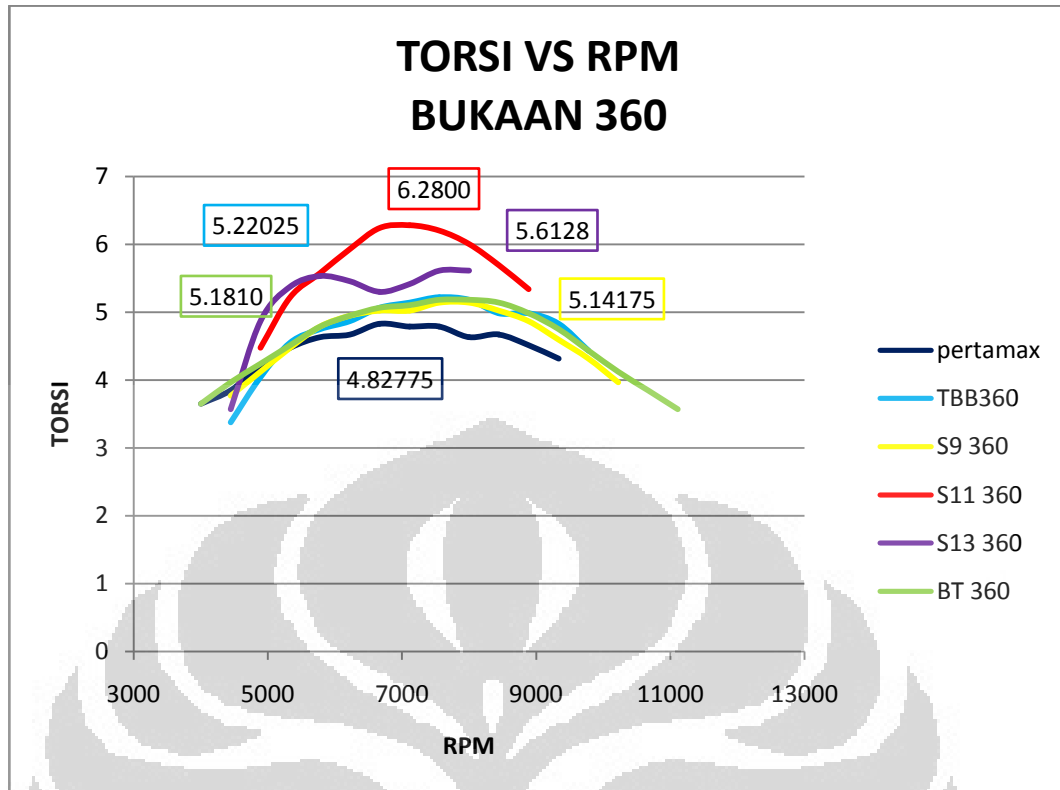
**Grafik 5.4 Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 180°**

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan torsi pada bukaan katup 180° yang diperoleh oleh motor dengan penggunaan *venturi mixer* pada semua lubang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gas berpengaruh pada peningkatan torsi yang didapatkan. Dari grafik di atas terlihat torsi terbesar dicapai pada penggunaan *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 yaitu sebesar 6.00525 ft lb, sedangkan pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9, *bluff body* silinder diameter 13, dan Tanpa *bluff body* masing – masing bernilai 5.18 ft lb, 5.57 ft lb, dan 5.14 ft lb.. Hal ini karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.



**Grafik 5.5** Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 270°

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan torsi pada bukaan katup 270° yang diperoleh oleh motor dengan penggunaan *venturi mixer* pada semua lubang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gas berpengaruh pada peningkatan torsi yang didapatkan. Dari grafik di atas terlihat torsi terbesar dicapai pada penggunaan *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 yaitu sebesar 6.00525 ft lb, sedangkan pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9, *bluff body* silinder diameter 13, dan Tanpa *bluff body* masing – masing bernilai 5.18 ft lb, 5.57 ft lb, dan 5.259 ft lb.. Hal ini karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.



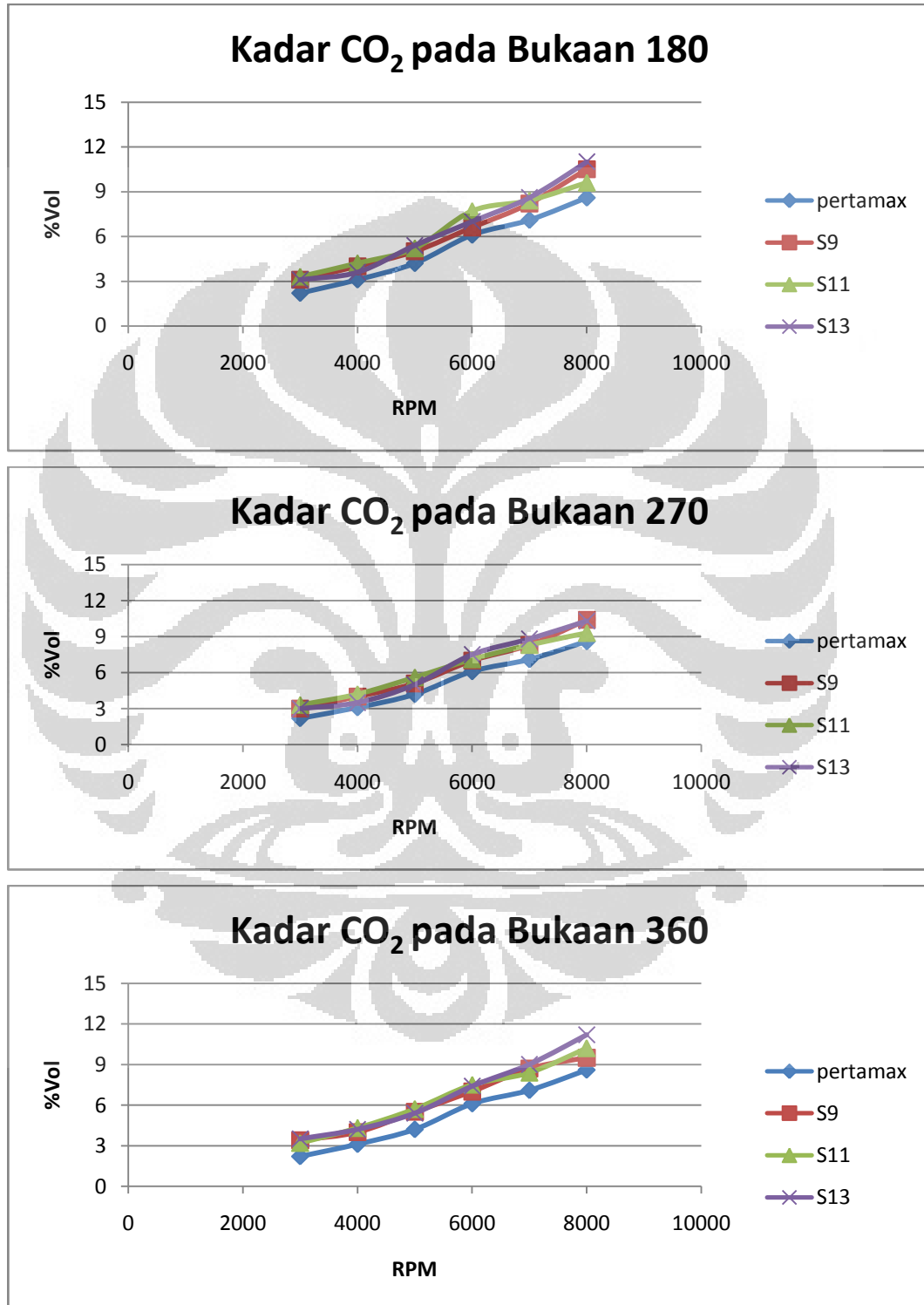
**Grafik 5.6 Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 360°**

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan torsi pada bukaan katup 180° yang diperoleh oleh motor dengan penggunaan *venturi mixer* pada semua lubang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gas berpengaruh pada peningkatan torsi yang didapatkan. Dari grafik di atas terlihat torsi terbesar dicapai pada penggunaan *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 yaitu sebesar 6.28 ft lb, sedangkan pada *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9, *bluff body* silinder diameter 13, dan Tanpa *bluff body* masing – masing bernilai 5.14 ft lb, 5.61 ft lb, dan 5.22 ft lb.. Hal ini karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.



## 5.2 ANALISIS EMISI GAS BUANG

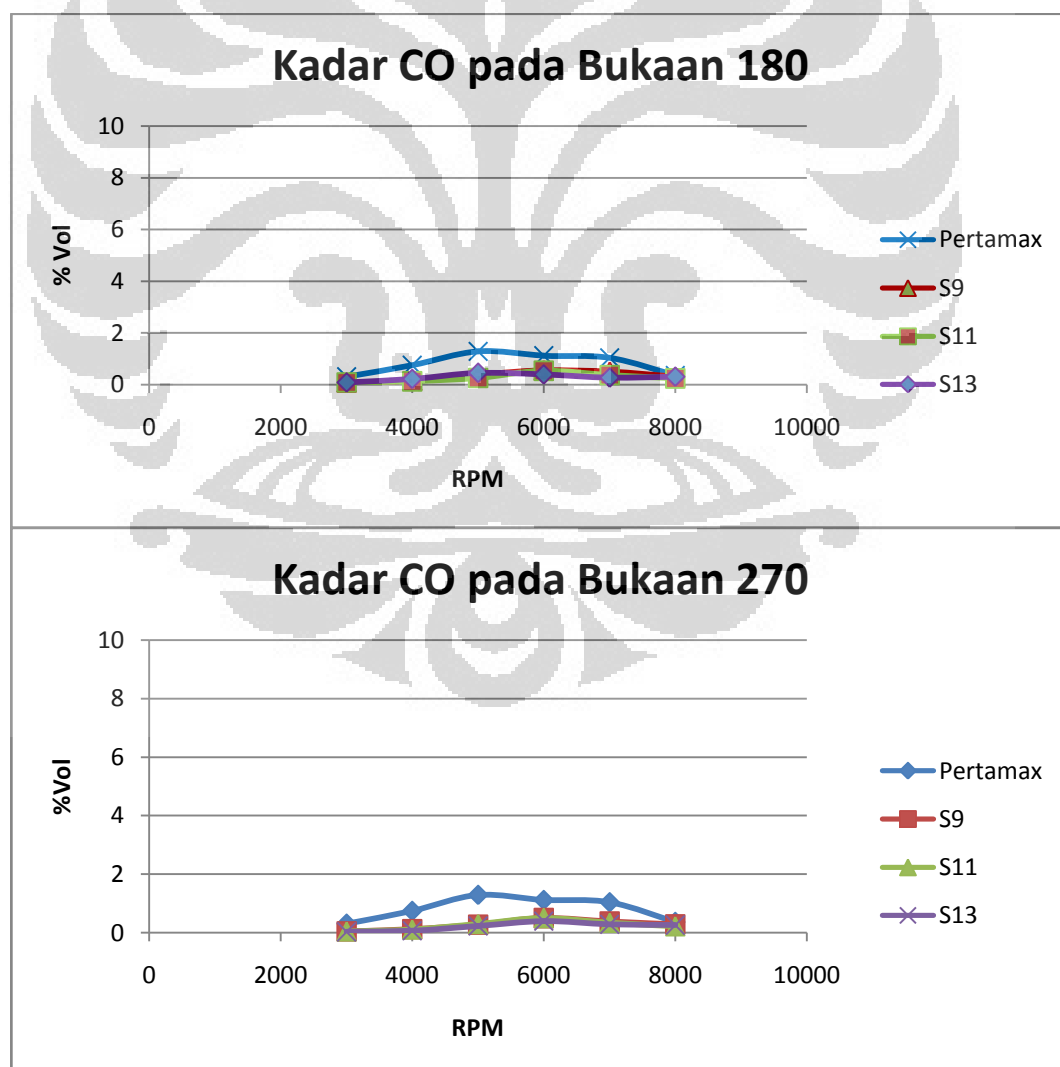
### 5.2.1 ANALISIS KADAR CO<sub>2</sub> (KARBON DIOKSIDA)

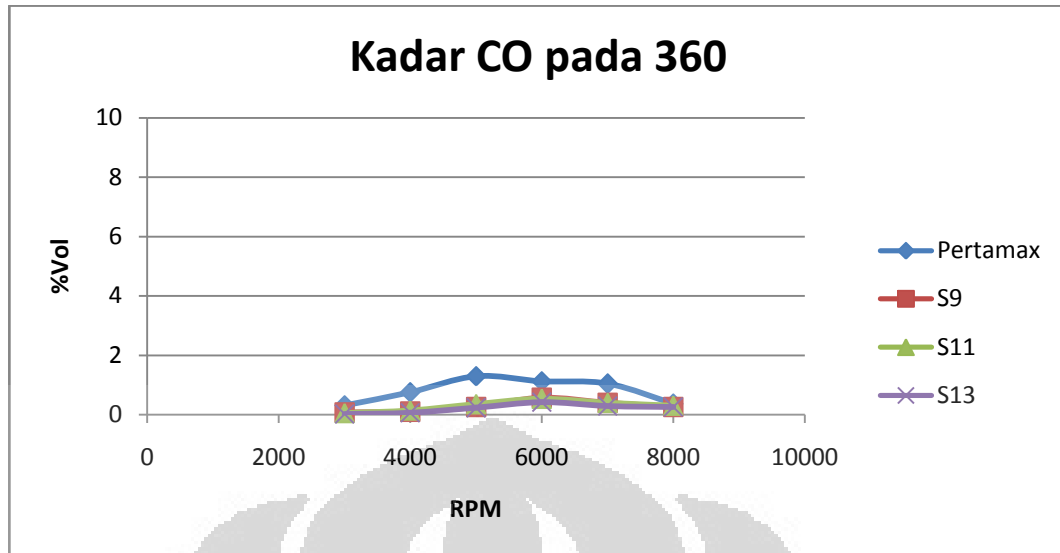


Grafik 5.7 Perbandingan CO<sub>2</sub> antar venturi mixer

**Grafik 5.7** diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari keempat jenis *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan variasi *bluff body* dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap *venturi mixer* yang digunakan. Penambahan LPG memberikan pengaruh yang baik terhadap pembakaran. Hal ini dapat dilihat berdasarkan grafik di atas bahwa dengan penambahan LPG pada tiap-tiap bukaan katup (180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, 360<sup>0</sup>), grafik menunjukkan kecenderungan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang dibandingkan kondisi tanpa penambahan LPG. Kecenderungan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang menunjukkan tingkat pembakaran yang semakin baik.

### 5.2.2 ANALISIS KADAR CO (KARBON MONOKSIDA)



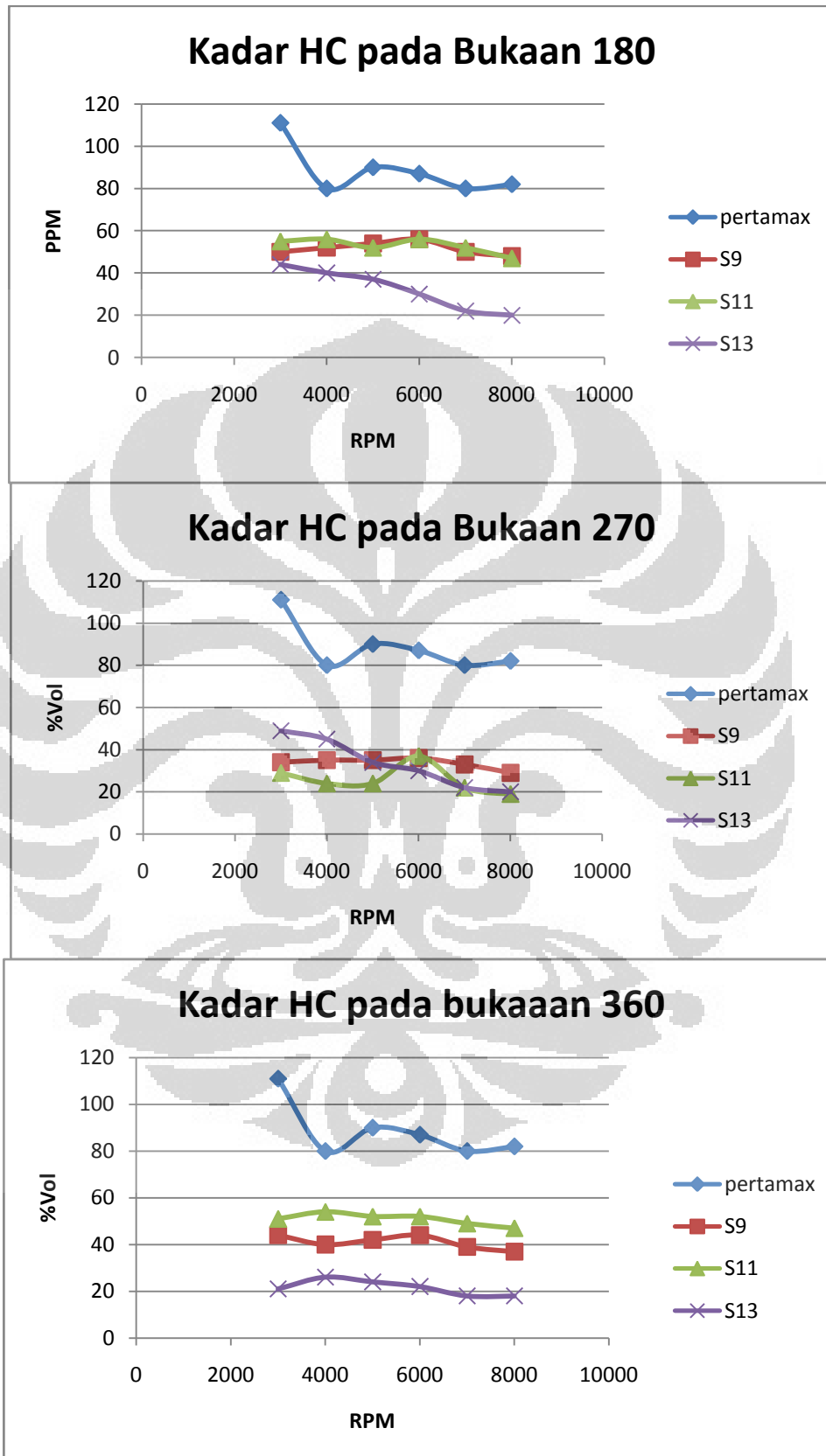


**Grafik 5.8 Perbandingan CO antar venturi mixer**

**Grafik 5.8** diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari keempat jenis *venturi mixer* 12 lubang menyilang dengan variasi *bluff body* dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap *venturi mixer* yang digunakan. Secara keseluruhan, grafik tersebut menunjukkan kecenderungan penurunan CO.

Terlihat bahwa untuk daerah-daerah tertentu pada semua jenis *venturi mixer* (antara 3000-6000 rpm), kadar CO pada emisi sepeda motor mengalami kenaikan dibandingkan dengan kondisi tanpa penambahan LPG. Hal ini dapat dijelaskan secara teori bahwa pada daerah tersebut terjadi pembakaran yang tidak sempurna, yang secara langsung berdampak pada kenaikan CO, penurunan CO<sub>2</sub>, dan kenaikan O<sub>2</sub>. Secara teori bahwa dengan penambahan LPG dalam jumlah yang tepat akan menghasilkan pembakaran yang semakin baik sehingga menurunkan kadar CO.

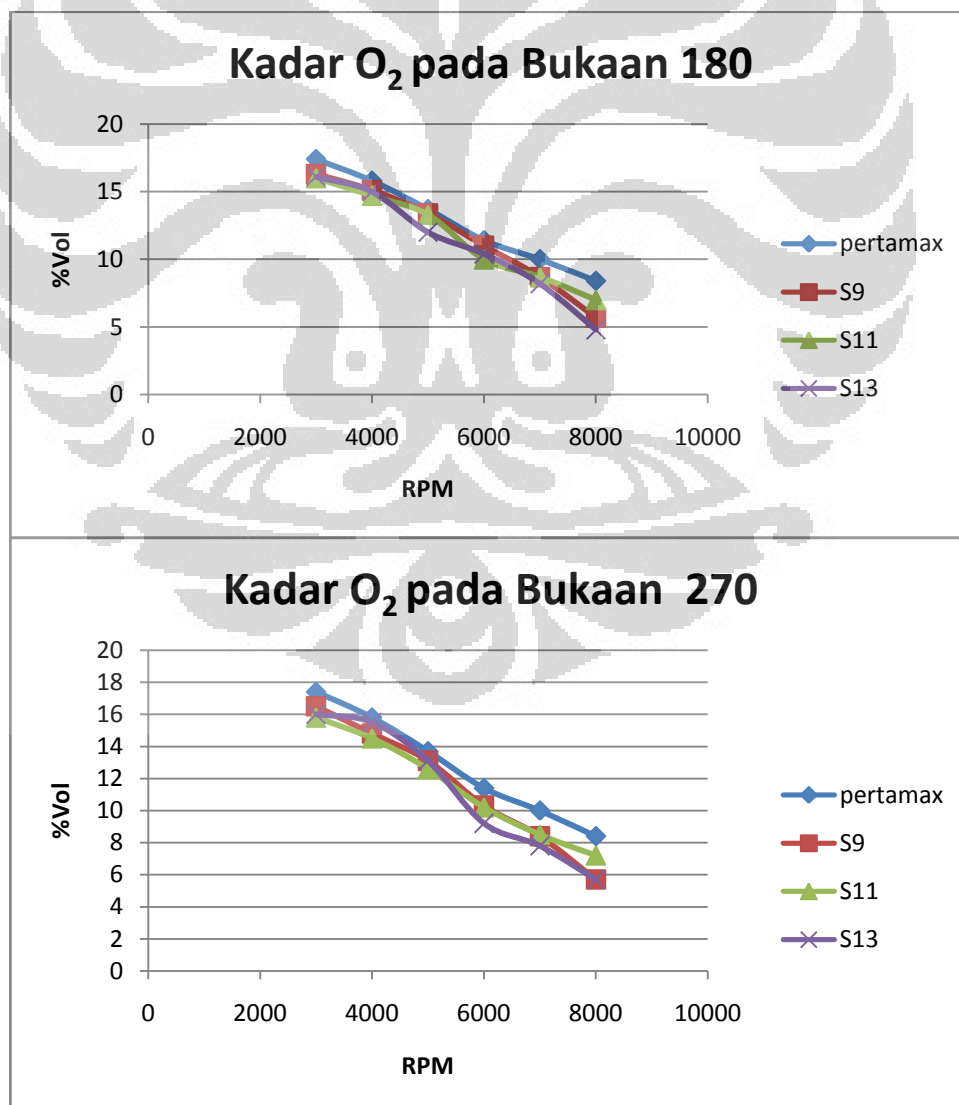
### 5.2.3 ANALISIS KADAR HC (HIDRO CARBON)

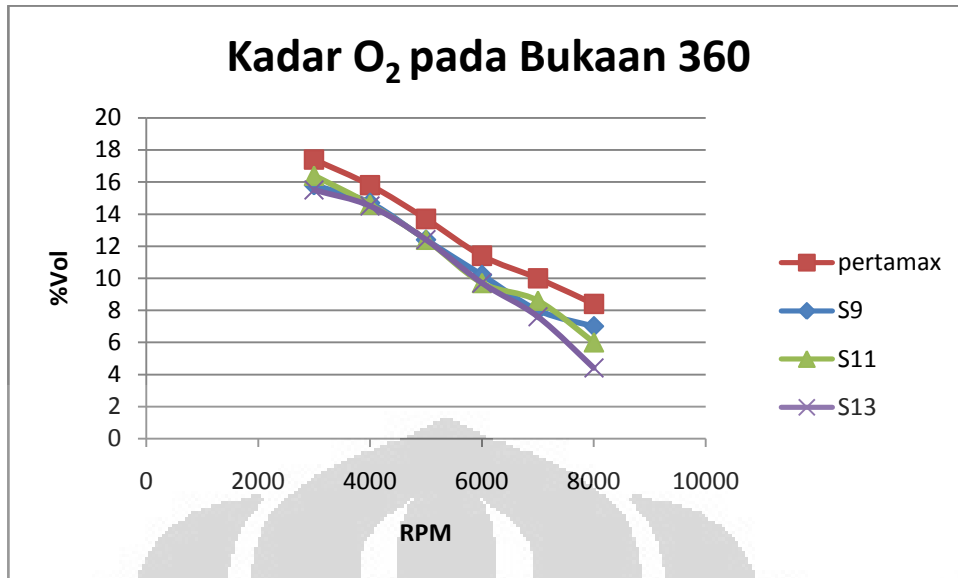


Grafik 5.9 Perbandingan HC antar venturi mixer

Pada **gambar 5.31** terlihat bahwa dengan melakukan penambahan LPG pada semua jenis venturi mixer yang diujikan dan semua bukaan katup, kandungan hidrokarbon yang terbentuk cenderung berada dibawah kondisi pada saat motor tidak mengalami penambahan LPG. Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa untuk pencapaian gas buang yang ideal, kandungan hidrokarbon yang terdapat dalam gas buang harus mengalami penurunan. Dengan penambahan LPG yang memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dan lebih mudah terbakar karena sifatnya yang lebih mudah menguap dibandingkan bensin, membuat kualitas pembakaran pada ruang bakar menjadi lebih baik.

#### 5.2.4 ANALISIS KADAR O<sub>2</sub> (OKSIGEN)





**Grafik 5.10 Perbandingan O<sub>2</sub> antar venturi *mixer***

Kadar O<sub>2</sub> menandakan tingkat penggunaan udara (oksigen) dalam proses pembakaran dimana semakin rendah kadar O<sub>2</sub> semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O<sub>2</sub> tinggi maka banyak udara masuk yang tidak dipergunakan pada proses pembakaran yang berarti reaksi pembakaran kurang sempurna dan akan menghasilkan CO (karbon monoksida) pada gas buang, yang seharusnya menjadi CO<sub>2</sub>.

Dari gambar 5.32 dapat terlihat bahwa dengan penambahan LPG untuk semua venturi mixer pada semua bukaan, kadar O<sub>2</sub> yang dihasilkan mengalami penurunan dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG. Hal ini menunjukkan dengan penambahan LPG maka pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna.

### 5.3 ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR

Konsumsi bahan bakar sepeda motor dapat diketahui dengan melakukan uji jalan unjuk kerja sepeda motor sesuai dengan SNI 09-4405-1997 tentang cara uji unjuk kerja jalan sepeda motor roda dua. Data yang didapat dari pengujian merupakan data konsumsi bahan bakar yang didapat secara *real time* sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI. Data yang diperoleh meliputi waktu tempuh, jarak tempuh, kecepatan rata-rata, konsumsi bahan bakar bensin.

Karena pengujian ini juga menggunakan LPG sebagai tambahan pada bahan bakar, maka konsumsi LPG juga diambil sebagai data. Analisa dilakukan terhadap grafik konsumsi bahan bakar, baik konsumsi bahan bakar bensin maupun konsumsi LPG, pada saat keadaan tanpa penambahan LPG dan juga saat LPG ditambahkan dengan bukaan katup regulator 180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup> dan 360<sup>0</sup>.

### 5.3.1. ANALISA KONSUMSI BAHAN BAKAR BENSIN

Penambahan LPG pada ruang bakar akan mempercepat dan mempermudah proses pembakaran dalam ruang bakar, karena LPG mengalir dalam fase gas sehingga lebih cepat terbakar dibanding bensin yang perlu dikarburasi terlebih dahulu dalam karburator sebelum terbakar. Fenomena terbakarnya LPG yang lebih cepat tersebut akan membantu terbakarnya bensin sehingga terjadi pembakaran yang lebih sempurna.

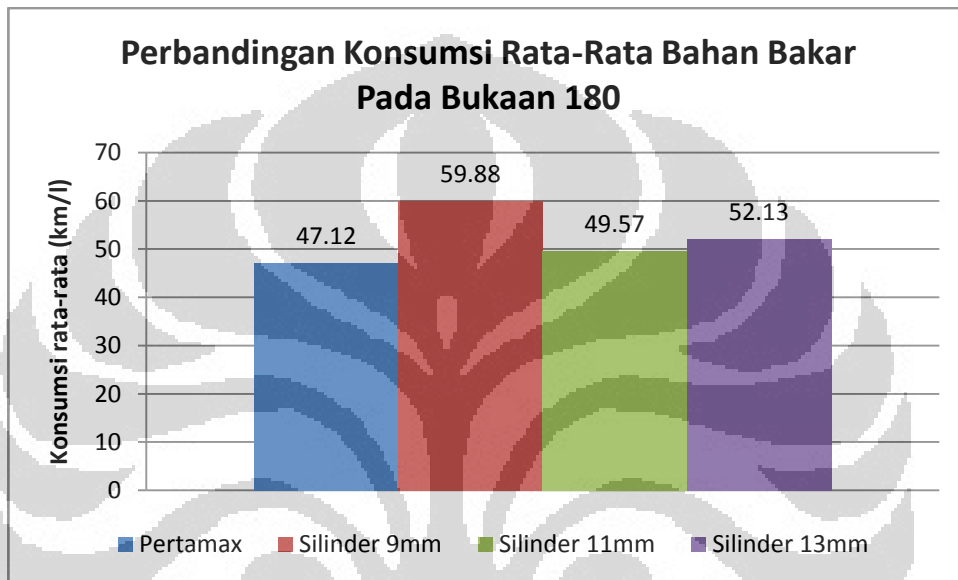
Dengan terjadinya proses pembakaran yang lebih sempurna, akan meningkatkan performa mesin dan mengurangi emisi gas buang, seperti yang telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya. Hal ini juga bisa memberikan pengaruh penghematan bensin sehingga konsumsi bensin dapat berkurang.

#### Bukaan 180<sup>o</sup>

**Tabel 5.29. Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaan 180<sup>o</sup>**

Jarak tempuh (km)	Konsumsi Bahan Bakar Bensin (mL)			
	Pertamax	S9	S11	S13
20.6	442	344	486	404
41.2	876	692	880	800
61.8	1324	1036	1270	1202
82.4	1764	1376	1678	1602
103	2186	1720	2078	1976

Dari tabel 5.1 di atas, pada venturi mixer dengan *bluff body* silinder secara umum dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar bensin dengan penambahan LPG untuk bukaan katup 180° menjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan keadaan tanpa penambahan LPG. Hal ini memberi arti bahwa dengan adanya penambahan LPG dapat mengurangi konsumsi bahan bakar bensin secara signifikan.



**Grafik 5.11 Grafik Perbandingan Konsumsi Rata-Rata Bensin Pada Bukaannya 180°**

Dari gambar 5.11 dapat diketahui konsumsi rata-rata bensin pada bukaan 180° untuk variasi diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi rata-rata bensin paling irit yaitu 59.88 km/L, artinya untuk 1 liter bensin bisa mencapai jarak tempuh sejauh 59.88 km. Padahal untuk kondisi tanpa LPG, menghasilkan konsumsi rata-rata 47.12 km/L, artinya untuk 1 liter bensin hanya bisa mencapai jarak tempuh sejauh 47.12 km.

**Tabel 5.30 Perubahan Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada bukaan 180°**

	Konsumsi bahan bakar bensin (km/L)	Pengaruh	%



Pertamax	47.12	-	-
Silinder 9mm	59.88	▲	27.08%
Silinder 11mm	49.57	▲	5.2%
Silinder 13mm	52.13	▲	10.63%

Dari tabel 5.2 penambahan LPG untuk diameter 11 mm bisa meningkatkan konsumsi rata-rata bensin sebesar 21.32 %. Penambahan LPG untuk diameter 11 mm dan 13 mm menghasilkan konsumsi rata-rata 49.57 km/L dan 52.13 km/L.

**Bukaan 270°**

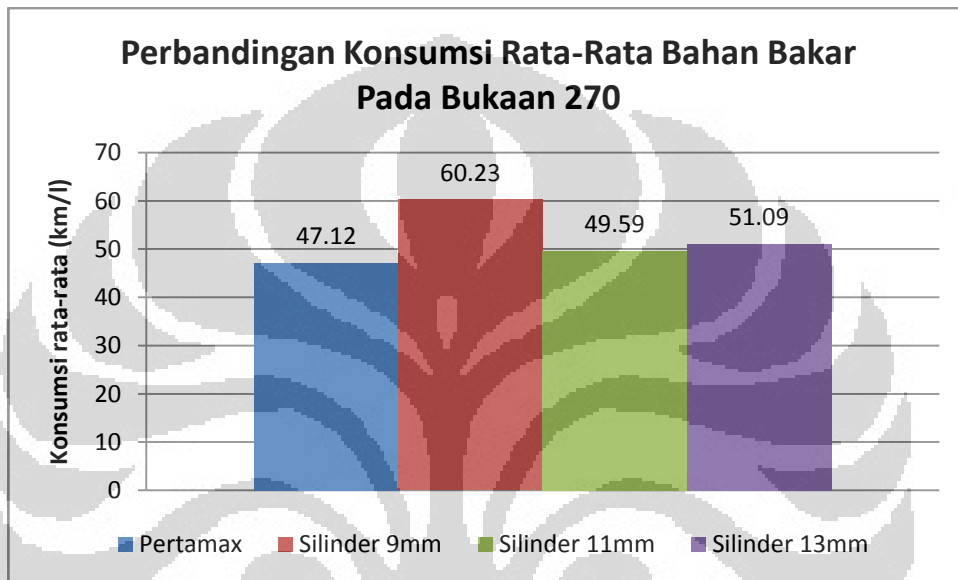
**Tabel 5.31 Tabel Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaan 270°**

Jarak tempuh (km)	Konsumsi Bahan Bakar Bensin (mL)			
	Pertamax	S9	S11	S13
20.6	442	342	484	418
41.2	876	681	895	810
61.8	1324	1021	1297	1212
82.4	1764	1365	1688	1608
103	2186	1710	2077	2016

Dari tabel 5.3 di atas, pada venturi mixer dengan *bluff body* silinder secara umum dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar bensin dengan penambahan LPG untuk bukaan katup 270° menjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan keadaan tanpa penambahan LPG. Hal ini memberi arti bahwa dengan adanya penambahan LPG dapat mengurangi konsumsi bahan bakar bensin secara signifikan.

Pada tabel 5.3 menunjukkan konsumsi bahan bakar bensin venturi mixer dengan *bluff body* silinder untuk jarak tempuh 103 km (5 x 20,6 km) dengan kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG untuk variasi diameter.

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan LPG dengan diameter 11 mm menghasilkan konsumsi bensin yang paling sedikit yaitu sebesar 1710 mL untuk menempuh jarak sejauh 103 km, dibandingkan dengan kondisi tanpa LPG yaitu sebesar 2186 mL untuk jarak tempuh yang sama, penambahan LPG dengan bukaan  $270^\circ$  untuk diameter 11 mm memberikan penurunan konsumsi bensin



**Grafik 5.12 Grafik Perbandingan Konsumsi Rata-Rata Bensin pada Bukaan  $270^\circ$**

Dari gambar 5.12 dapat diketahui konsumsi rata-rata bensin pada bukaan  $270^\circ$  untuk variasi diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi rata-rata bensin paling irit yaitu 60.23 km/L, artinya untuk 1 liter bensin bisa mencapai jarak tempuh sejauh 60.23 km. Padahal untuk kondisi tanpa LPG, menghasilkan konsumsi rata-rata 47.12 km/L, artinya untuk 1 liter bensin hanya bisa mencapai jarak tempuh sejauh 47.12 km.

**Tabel 5.32 Tabel Perubahan Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Bukaannya 270°**

	Konsumsi bahan bakar bensin (km/L)	Pengaruh	%
Pertamax	47.12	-	-
Silinder 9mm	60.23	▲	27.82%
Silinder 11mm	49.59	▲	5.24%
Silinder 13mm	51.09	▲	8.43%

Dari tabel 5.4 penambahan LPG untuk diameter 11 mm bisa meningkatkan konsumsi rata-rata bensin sebesar 21.77%. Penambahan LPG untuk diameter 11 mm dan 13 mm menghasilkan konsumsi rata-rata 49.59 km/L dan 51.09 km/L.

**Bukaan 360°**

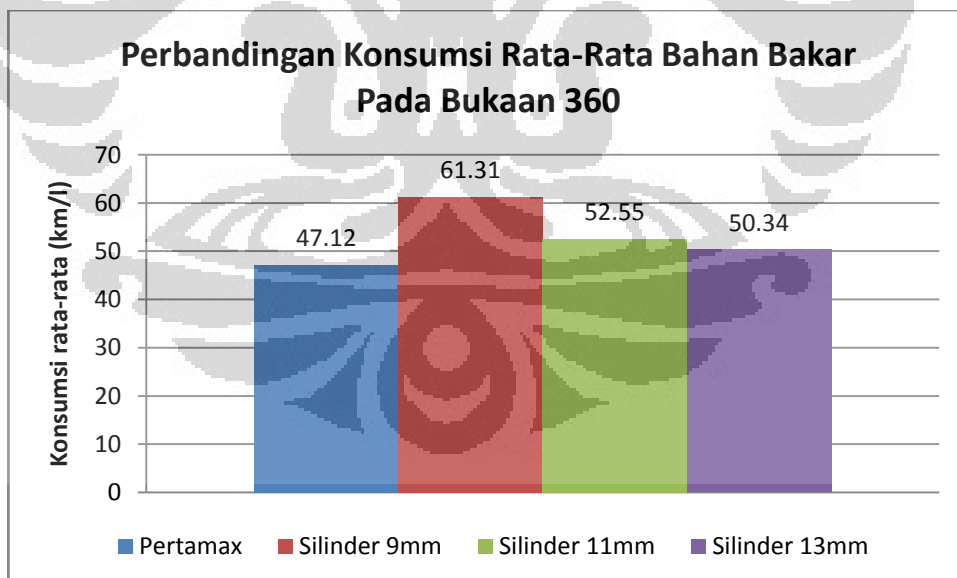
**Tabel 5.33 Tabel konsumsi bahan bakar bensin pada Bukaannya 360°**

Jarak tempuh (km)	Konsumsi Bahan Bakar Bensin (mL)			
	Pertamax	S9	S11	S13
20.6	442	336	394	418
41.2	876	670	776	828
61.8	1324	1002	1178	1230
82.4	1764	1342	1566	1628
103	2186	1680	1960	2046

Dari tabel 5.5 di atas, pada venturi mixer dengan *bluff body* silinder secara umum dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar bensin dengan penambahan LPG untuk bukaan katup 360° menjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan keadaan tanpa penambahan LPG. Hal ini memberi arti bahwa dengan adanya penambahan LPG dapat mengurangi konsumsi bahan bakar bensin secara signifikan.

Pada tabel 5.3 menunjukkan konsumsi bahan bakar bensin venturi mixer dengan *bluff body* silinder untuk jarak tempuh 103 km (5 x 20,6 km) dengan kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG untuk variasi diameter.

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan LPG dengan diameter 11 mm menghasilkan konsumsi bensin yang paling sedikit yaitu sebesar 1680 mL untuk menempuh jarak sejauh 103 km, dibandingkan dengan kondisi tanpa LPG yaitu sebesar 2186 mL untuk jarak tempuh yang sama, penambahan LPG dengan bukaan 360° untuk diameter 11 mm memberikan penurunan konsumsi bensin



**Grafik 5.13 Grafik perbandingan konsumsi rata-rata bensin pada Bukaan 360°**

Dari gambar 5.13 dapat diketahui konsumsi rata-rata bensin pada bukaan 360° untuk variasi diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk

diameter 11 mm menghasilkan konsumsi rata-rata bensin paling irit yaitu 61.31 km/L, artinya untuk 1 liter bensin bisa mencapai jarak tempuh sejauh 61.31 km. Padahal untuk kondisi tanpa LPG, menghasilkan konsumsi rata-rata 47.12 km/L, artinya untuk 1 liter bensin hanya bisa mencapai jarak tempuh sejauh 47.12 km.

**Tabel 5.34 Tabel perubahan konsumsi bahan bakar bensin pada Bukaannya 360°**

	Konsumsi bahan bakar bensin (km/L)	Pengaruh	%
Pertamax	47.12	-	-
Silinder 9mm	61.31	▲	30.11%
Silinder 11mm	52.55	▲	11.52%
Silinder 13mm	50.34	▲	6.83%

Dari tabel 5.6 penambahan LPG untuk diameter 11 mm bisa meningkatkan konsumsi rata-rata bensin sebesar 23.15%. Penambahan LPG untuk diameter 11 mm dan 13 mm menghasilkan konsumsi rata-rata 52.55 km/L dan 50.34 km/L.

### 5.3.2. ANALISA KONSUMSI LPG

LPG mengalir dari tabung menuju ruang bakar melalui selang dan mekanisme penyalur LPG. Hal ini bisa terjadi karena adanya gaya dorong dari tekanan dalam tabung LPG, juga karena adanya gaya hisap dari ruang bakar melalui karburator. Dengan adanya variasi bukaan katup regulator maka konsumsi LPG pun akan bervariasi.

#### Bukaan 180°

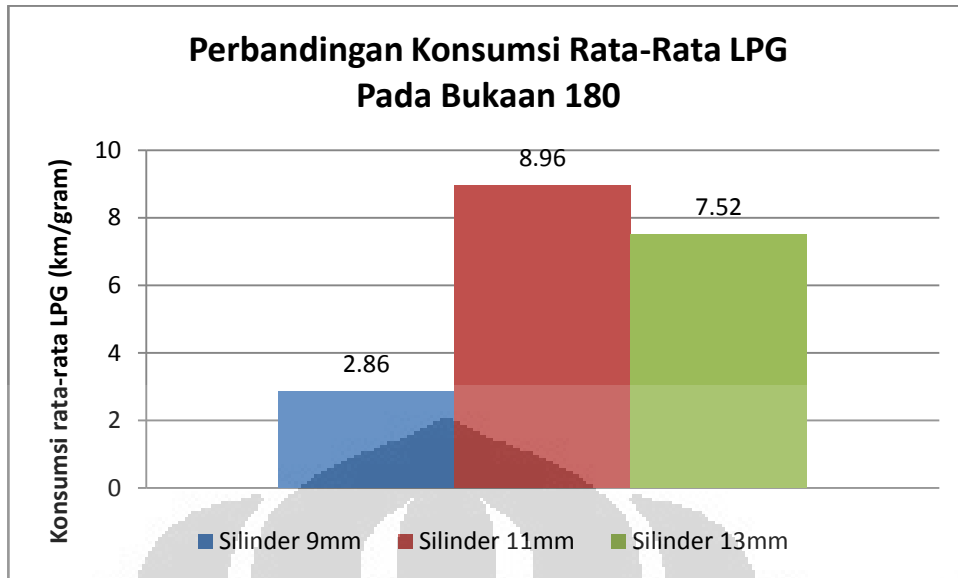
**Tabel 5.35 Tabel konsumsi LPG pada Bukaannya 180°**

Jarak	Konsumsi LPG
-------	--------------

tempuh (km)	(gram)		
	Silinder 9mm	Silinder 11mm	Silinder 13mm
20.6	7.2	1.8	2.6
41.2	14.5	4	5.4
61.8	21.4	6.6	8.5
82.4	28.5	8.7	10.5
103	36	11.5	13.7

Pada tabel 5.7 menunjukkan konsumsi LPG untuk jarak tempuh 103 km (5x 20,6 km) untuk variasi diameter pada bukaan katup 180°. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan LPG dengan diameter 9 mm menghasilkan konsumsi LPG yang paling banyak yaitu sebesar 36 gram untuk menempuh jarak sejauh 103 km. Untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi LPG paling sedikit yaitu sebesar 11.5 gram untuk jarak yang sama. Untuk diameter 13 mm menghasilkan konsumsi LPG sebesar 13.7 gram.

Dari keterangan di atas, dapat diketahui antara 3 diameter yang dipakai menghasilkan konsumsi LPG yang fluktuatif, tidak sesuai dengan diameter silinder dimana secara teori konsumsi LPG akan meningkat sesuai dengan makin besarnya diameter. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan karena faktor karakteristik pengemudi dan faktor-faktor teknis dan non-teknis lainnya.



**Grafik 5.14** Grafik perbandingan konsumsi rata-rata LPG pada Bukaannya 180°

Dari gambar 5.14 dapat diketahui konsumsi rata-rata LPG untuk setiap diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi rata-rata LPG paling irit yaitu 8.96 km/gram, artinya untuk 1 gram LPG bisa mencapai jarak tempuh sejauh 8.96 km. Untuk diameter 9 mm dan 13 mm, menghasilkan konsumsi rata-rata LPG sebesar 2.86 km/gram dan 7.52 km/gram.

Konsumsi LPG memiliki efek pada konsumsi bahan bakar bensin dimana konsumsi bensin akan menurun ketika diberi tambahan gas LPG. Hal ini juga bisa dilihat dengan membandingkan antara tabel dan grafik konsumsi bahan bakar bensin dengan tabel dan grafik konsumsi LPG.

Dari tabel konsumsi bahan bakar bensin, didapat konsumsi akumulatif bensin untuk penambahan LPG dengan diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 1680 mL, 1960 mL dan 2046 mL. Jika dibandingkan dengan konsumsi bensin tanpa LPG sebesar 2186 mL, maka penambahan LPG setiap variasi diameter bisa mengurangi konsumsi bensin sebesar 506 mL, 226 mL dan 140 mL.

Dari tabel konsumsi LPG, didapat konsumsi kumulatif LPG untuk diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 25 gram, 12 gram, dan 11.6 gram. Jika konsumsi LPG ini dibandingkan dengan pengurangan konsumsi bensin, maka bisa ditentukan campuran LPG-bensin yang paling sesuai. Untuk diameter 9 mm, 466 mL bensin setara dengan 36 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin

diperlukan 77.25 gram LPG. Untuk diameter 11 mm, 108 mL bensin setara dengan 11.5 gram artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 106.48 gram LPG. Untuk diameter 13 mm, 210 mL bensin setara dengan 13.7 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 65.24 gram LPG. Perlu diketahui, diameter 9 mm menghasilkan penurunan konsumsi bensin paling banyak, tapi membutuhkan konsumsi LPG bukan yang paling banyak. Hal ini menekankan bahwa konsumsi gas yang banyak belum tentu membuat konsumsi bensin berkurang banyak pula.

**Tabel 5.36 Penghematan konsumsi bensin pada Bukaannya 180°**

Jenis	Konsumsi Bensin (mL)	Penghematan Bensin (mL)	Konsumsi LPG (gram)	Jumlah LPG untuk penghematan 1 L bensin (gram)
Pertamax	2186			
Silinder 9mm	1720	466	36	77.25
Silinder 11mm	2078	108	11.5	106.48
Silinder 13mm	1976	210	13.7	65.24

**Bukaan 270°**

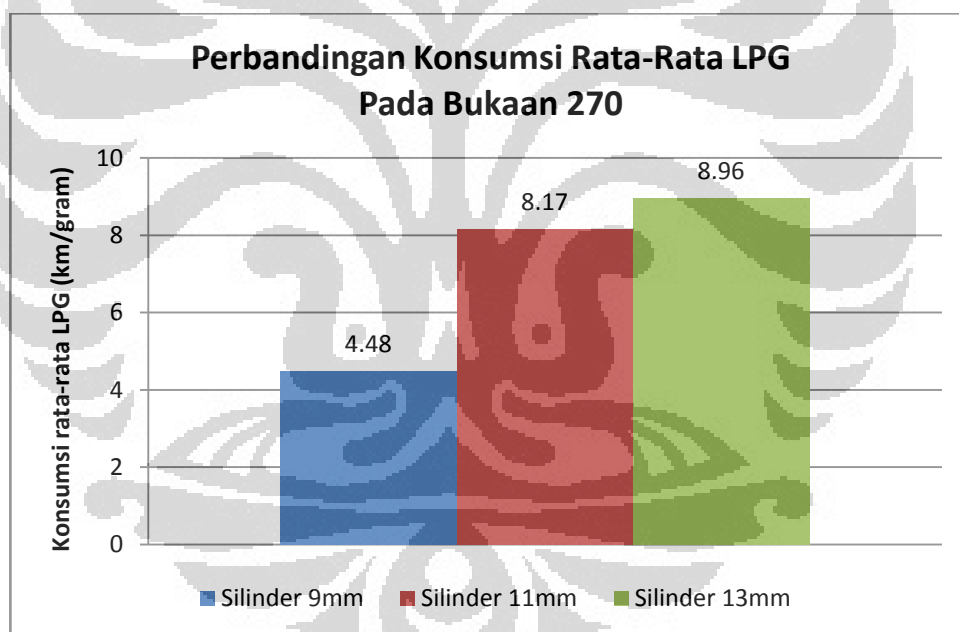
**Tabel 5.37 Tabel konsumsi LPG pada Bukaannya 270°**

Jarak tempuh (km)	Konsumsi LPG (gram)		
	Silinder 9mm	Silinder 11mm	Silinder 13mm
20.6	4.6	3	2
41.2	9.4	5.3	4.3
61.8	14.3	7.8	6.8
82.4	18.7	9.7	8.8
103	23	12.6	11.5



Pada tabel 5.9 menunjukkan konsumsi LPG untuk jarak tempuh 103 km (5x 20,6 km) untuk variasi diameter pada bukaan katup 270°. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan LPG dengan diameter 9 mm menghasilkan konsumsi LPG yang paling banyak yaitu sebesar 23 gram untuk menempuh jarak sejauh 103 km. Untuk diameter 13 mm menghasilkan konsumsi LPG paling sedikit yaitu sebesar 11.5 gram untuk jarak yang sama. Untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi LPG sebesar 12.6 gram.

Dari keterangan di atas, dapat diketahui antara 3 diameter yang dipakai menghasilkan konsumsi LPG yang fluktuatif, tidak sesuai dengan diameter silinder dimana secara teori konsumsi LPG akan meningkat sesuai dengan makin besarnya diameter. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan karena faktor karakteristik pengemudi dan faktor-faktor teknis dan non-teknis lainnya.



**Grafik 5.15** Grafik perbandingan konsumsi rata-rata LPG pada Bukaan 270°

Dari gambar 5.15 dapat diketahui konsumsi rata-rata LPG untuk setiap diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk diameter 13 mm menghasilkan konsumsi rata-rata LPG paling irit yaitu 8.96 km/gram, artinya untuk 1 gram LPG bisa mencapai jarak tempuh sejauh 8.96 km. Untuk diameter 9 mm dan 11 mm, menghasilkan konsumsi rata-rata LPG sebesar 4.48 km/gram dan 8.17 km/gram.

Konsumsi LPG memiliki efek pada konsumsi bahan bakar bensin dimana konsumsi bensin akan menurun ketika diberi tambahan gas LPG. Hal ini juga bisa dilihat dengan membandingkan antara tabel dan grafik konsumsi bahan bakar bensin dengan tabel dan grafik konsumsi LPG.

Dari tabel konsumsi bahan bakar bensin, didapat konsumsi akumulatif bensin untuk penambahan LPG dengan diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 1710 mL, 2143 mL dan 2016 mL. Jika dibandingkan dengan konsumsi bensin tanpa LPG sebesar 2186 mL, maka penambahan LPG setiap variasi diameter bisa mengurangi konsumsi bensin sebesar 476 mL, 43 mL dan 170 mL.

Dari tabel konsumsi LPG, didapat konsumsi kumulatif LPG untuk diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 23 gram, 12.6 gram, dan 11.5 gram. Jika konsumsi LPG ini dibandingkan dengan pengurangan konsumsi bensin, maka bisa ditentukan campuran LPG-bensin yang paling sesuai. Untuk diameter 9 mm, 476 mL bensin setara dengan 23 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 48.32 gram LPG. Untuk diameter 11 mm, 109 mL bensin setara dengan 12.6 gram artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 115.60 gram LPG. Untuk diameter 13 mm, 170 mL bensin setara dengan 11.5 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 67.65 gram LPG. Perlu diketahui, diameter 9 mm menghasilkan penurunan konsumsi bensin paling banyak, tapi membutuhkan konsumsi LPG bukan yang paling banyak. Hal ini menekankan bahwa konsumsi gas yang banyak belum tentu membuat konsumsi bensin berkurang banyak pula.

**Tabel 5.38 Penghematan konsumsi bensin pada Bukaan 270°**

Jenis	Konsumsi Bensin (mL)	Penghematan Bensin (mL)	Konsumsi LPG (gram)	Jumlah LPG untuk penghematan 1 L bensin (gram)
Pertamax	2186			
Silinder 9mm	1710	476	23	48.32
Silinder 11mm	2077	109	12.6	115.60
Silinder 13mm	2016	170	11.5	67.65

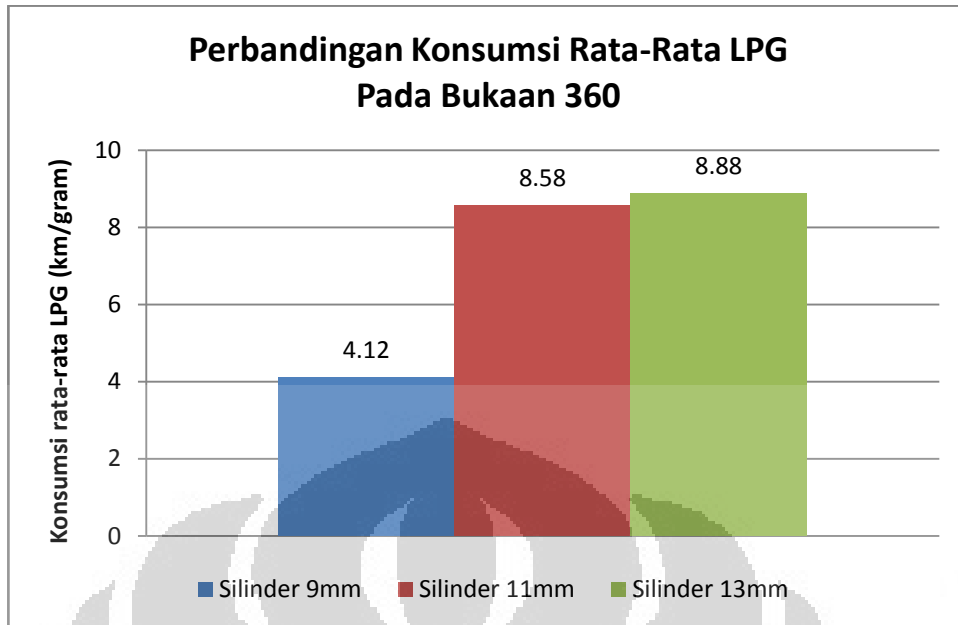
**Bukaan 360°**

**Tabel 5.39 Tabel konsumsi LPG Venturi pada bukaan 360°**

Jarak tempuh (km)	Konsumsi LPG (gram)		
	Silinder 9mm	Silinder 11mm	Silinder 13mm
20.6	5	2	2
41.2	10.7	4.4	4.8
61.8	15.9	7	7.1
82.4	20.2	9.1	9.2
103	25	12	11.6

Pada tabel 5.11 menunjukkan konsumsi LPG untuk jarak tempuh 103 km (5x 20,6 km) untuk variasi diameter pada bukaan katup 360°. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan LPG dengan diameter 9 mm menghasilkan konsumsi LPG yang paling banyak yaitu sebesar 25 gram untuk menempuh jarak sejauh 103 km. Untuk diameter 13 mm menghasilkan konsumsi LPG paling sedikit yaitu sebesar 11.6 gram untuk jarak yang sama. Untuk diameter 11 mm menghasilkan konsumsi LPG sebesar 12 gram.

Dari keterangan di atas, dapat diketahui antara 3 diameter yang dipakai menghasilkan konsumsi LPG yang fluktuatif, tidak sesuai dengan diameter silinder dimana secara teori konsumsi LPG akan meningkat sesuai dengan makin besarnya diameter. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan karena faktor karakteristik pengemudi dan faktor-faktor teknis dan non-teknis lainnya.



**Grafik 5.16 Grafik perbandingan konsumsi rata-rata LPG Pada Bukaannya 360°**

Dari gambar 5.16 dapat diketahui konsumsi rata-rata LPG untuk setiap diameter. Ternyata kondisi dengan penambahan LPG untuk diameter 13 mm menghasilkan konsumsi rata-rata LPG paling irit yaitu 8.88 km/gram, artinya untuk 1 gram LPG bisa mencapai jarak tempuh sejauh 8.88 km. Untuk diameter 9 mm dan 11 mm, menghasilkan konsumsi rata-rata LPG sebesar 4.12 km/gram dan 8.58 km/gram.

Konsumsi LPG memiliki efek pada konsumsi bahan bakar bensin dimana konsumsi bensin akan menurun ketika diberi tambahan gas LPG. Hal ini juga bisa dilihat dengan membandingkan antara tabel dan grafik konsumsi bahan bakar bensin dengan tabel dan grafik konsumsi LPG.

Dari tabel konsumsi bahan bakar bensin, didapat konsumsi akumulatif bensin untuk penambahan LPG dengan diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 1680 mL, 1960 mL dan 2046 mL. Jika dibandingkan dengan konsumsi bensin tanpa LPG sebesar 2186 mL, maka penambahan LPG setiap variasi diameter bisa mengurangi konsumsi bensin sebesar 506 mL, 226 mL dan 140 mL.

Dari tabel konsumsi LPG, didapat konsumsi kumulatif LPG untuk diameter 9 mm, 11 mm, dan 13 mm yaitu 25 gram, 12 gram, dan 11.6 gram.

Jika konsumsi LPG ini dibandingkan dengan pengurangan konsumsi bensin, maka bisa ditentukan campuran LPG-bensin yang paling sesuai. Untuk diameter 9 mm, 506 mL bensin setara dengan 25 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 49.41 gram LPG. Untuk diameter 11 mm, 226 mL bensin setara dengan 12 gram artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 53.10 gram LPG. Untuk diameter 13 mm, 140 mL bensin setara dengan 11.6 gram LPG, artinya untuk penghematan 1 liter bensin diperlukan 82.86 gram LPG. Perlu diketahui, diameter 9 mm menghasilkan penurunan konsumsi bensin paling banyak, tapi membutuhkan konsumsi LPG bukan yang paling banyak. Hal ini menekankan bahwa konsumsi gas yang banyak belum tentu membuat konsumsi bensin berkurang banyak pula.

**Tabel 5.40 Penghematan konsumsi bensin Pada Bukaan 360°**

Jenis	Konsumsi Bensin (mL)	Penghematan Bensin (mL)	Konsumsi LPG (gram)	Jumlah LPG untuk penghematan 1 L bensin (gram)
Pertamax	2186			
Silinder 9mm	1680	506	25	49.41
Silinder 11mm	1960	226	12	53.10
Silinder 13mm	2046	140	11.6	82.86

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap pengaruh penambahan LPG melalui *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder pada sistem bahan bakar motor empat langkah terhadap prestasi mesin dan gas buang yang dihasilkan. Dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada setiap jenis bukaan katup dengan variasi diameter yang berbeda-beda didapat bahwa silinder diameter 11 mm paling maksimal. Hal tersebut dikarenakan volume atur *venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 11 lebih besar daripada jenis *venturi mixer* yang lainya
2. Penambahan LPG pada sistem bahan bakar menggunakan *venturi mixer* dengan jenis *bluff body* silinder diameter 11 mm dapat meningkatkan daya mesin motor sebesar 9.2 HP saat bukaan katup 360° ,9 HP saat bukaan katup 270° dan 8.9 HP saat bukaan katup 180° .
3. Penambahan gas LPG pada sistem penyaluran bahan bakar motor 4 langkah dapat menurunkan konsumsi bahan bakar bensin ke dalam ruang bakar.
4. *Venturi mixer* dengan *bluff body* silinder diameter 9 mm membutuhkan konsumsi bahan bakar bensin dan gas LPG lebih sedikit dibandingkan menggunakan venturi mixer jenis lainya.
5. Penambahan LPG yang terlalu banyak kedalam ruang bakar tidak selalu membuat karakteristik prestasi mesin menjadi lebih baik. Karena campuran udara bahan bakar yang tidak seimbang menyebabkan mesin tersendat dan tidak dapat menghasilkan tenaga yang maksimal. Sehingga perlu adanya pengontrol untuk mengatur kuantitas LPG yang masuk ke ruang bakar
6. Secara umum penambahan LPG dapat memberikan hasil yang baik pada pembakaran. Hal ini dapat terlihat dari hasil uji emisi sepeda motor yang diberi penambahan LPG dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG.

## 6.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai penambahan LPG ke dalam ruang bakar dengan menggunakan *bluff body* silinder, maka masukan yang dapat dilakukan kedepannya sehingga optimalisasi hasil dapat tercapai antara lain:

1. Perlu adanya pengontrol untuk mengatur secara otomatis kuantitas laju aliran LPG yang masuk ke ruang bakar agar terjadi pembakaran sempurna karena untuk mendapatkan kadar uji emisi yang rendah dan kenaikan torsi yang signifikan diperlukan kuantitas laju aliran LPG yang pas yang sesuai dengan kebutuhan ruang bakar.
2. Perlu adanya suatu alat yang dapat mengukur konsumsi bahan bakar bensin secara *real time* sehingga kita dapat mengetahui laju aliran massa bahan bakar bensin ke dalam ruang bakar setiap kenaikan rpmnya.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Ardi Mardika. “(ANALISIS PENGGUNAAN *VENTURI MIXER* 4 LUBANG TERHADAP PERUBAHAN PERFORMA DAN EMISI SEPEDA MOTOR 4-LANGKAH / 125 CC DENGAN PENAMBAHAN LPG)”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.
- [2] David Parmonang. “(ANALISIS PENGGUNAAN *VENTURI MIXER* 4 LUBANG TERHADAP KONSUMSI BENSIN DAN AKSELERASI SEPEDA MOTOR 4-LANGKAH / 125 CC DENGAN PENAMBAHAN LPG)”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007, hal. 89-91.
- [3] Ridho Ridwan Algrage. ”(ANALISA KONSUMSI BAHAN BAKAR BENSIN DAN AKSELERASI SEPEDA MOTOR 4-LANGKAH / 125 CC DENGAN PENAMBAHAN LPG)”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.
- [4] Ahmad Fauzie. “(ANALISIS PENGGUNAAN *VENTURI MIXER* 12 LUBANG MENYILANG TERHADAP PERUBAHAN PERFORMA DAN EMISI PADA SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH / 125 CC DENGAN PENAMBAHAN LPG)”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
- [5] Jesuito Richardo Yomanto. ”(ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN *VENTURI MIXER* 12 LUBANG MENYILANG BLUFF BODY BERTINGKAT DENGAN VARIASI BLUFF BODY LAINNYA)”. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2009.



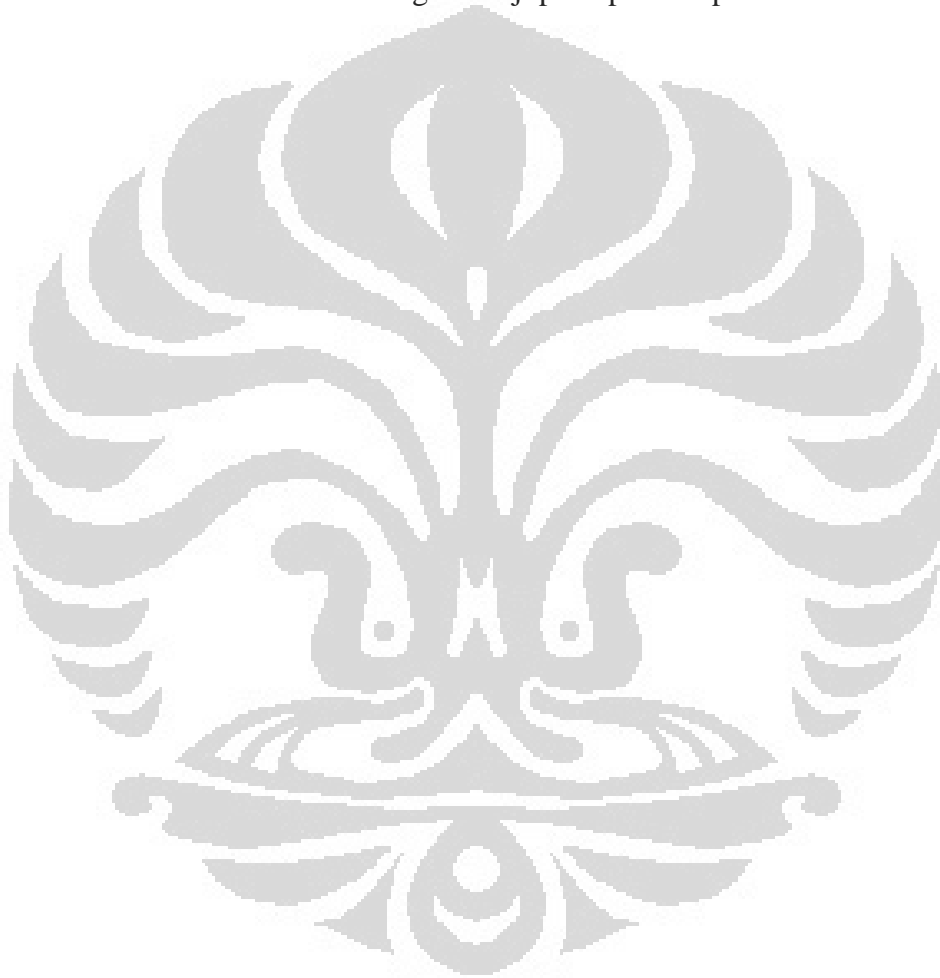
## DAFTAR PUSTAKA

- Alternate Energy Systems, Inc. *Technical Data for Propane, Butane and LPG mixture.*
- Benson, Rowland and N.D. Whitehouse. *Internal Combustion Engine Volume 1.* Pergamon Press. 1983.
- Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. *Thermodynamics An Engineering Approach Second Edition.* New York : McGraw Hill International Editions. 1994.
- Garreth, T.K. Newton, K. Steeds, w. *The Motor Vehicle 13<sup>th</sup>.* Read Educational and Profesional Publishing. 2001
- Komarudin, *Tesis Analisa Pola Pencampuran pada Mixer BBG dengan Berbantuan Komputer,* Universitas Indonesia. 2001
- Mathur M.L. and R.P. Sharma. *A Course In Internal Combustion Engines.* Delhi, 1980
- Mokhtar, Ali. *Tesis Kaji Experimental Perubahan Geometri Ventury Mixer Untuk Menaikan Performance Engine Berbahan Bakar gas.* Universitas Indonesia. 2003
- Munson, Bruce R., Young, Donald F., and Okiishi, Theodore H. *Mekanika Fluida edisi ke 4 Jilid*, terj Harinaldi dan Budiarmo. Jakarta : Erlangga, 2003.
- Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam.* ISBN 979-97726-7-2
- <http://howstuffworks.com>
- <http://www.wikipedia.org>
- <http://www.e-lpg.com>
- <http://lpgconversionsltd.co.uk/lpgbenefits>
- <http://bankspowers.com>

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN I: SNI

1. SNI 09-4405-1997 tentang cara uji unjuk kerja jalan sepeda motor
2. SNI 09-1400-1995 tentang cara uji percepatan sepeda motor roda dua




**SNI**

Standar Nasional Indonesia

SNI 09 - 4405 - 1997

ICS.

---



**Cara uji unjuk kerja  
jalan sepeda motor**

---

Dewan Standardisasi Nasional - DSN

## PENDAHULUAN

Standar Cara Uji Unjuk Kerja Jalan Sepeda Motor, disusun untuk mengetahui kondisi dari pada sepeda motor setelah melakukan unjuk kerja jalan sepeda motor.

Penyusunan Standar Industri ini melalui Rapat-rapat Teknis, rapat Pra Konsensus Nasional dan rapat Konsensus Nasional yang diselenggarakan di Jakarta di tempat yang sama pada tanggal 30 Oktober 1995, disusun oleh PT. Honda dan dibantu oleh PT. Yamaha, PASMI, PT. ISI, Balai PLJSKB Bekasi, Dit.Jen. Hub. Darat, PT. KGD Indonesia, Dit.Latas POLRI, Pustan dan Dit.Jen. ILME, Industri ALat Angkut Departemen Perindustrian.

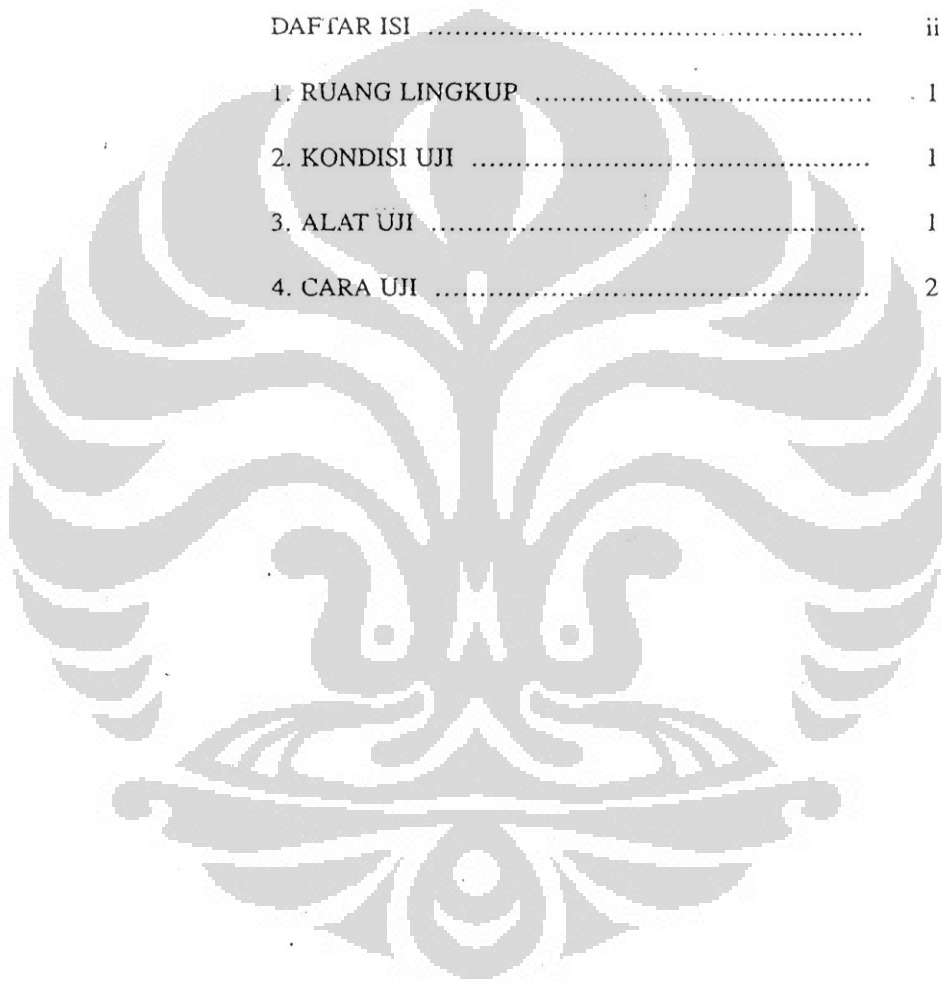
Sebagai acuan :

JIS D. 1040 - 1982

*Methods and motor cycles - Method of ... test*

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
1. RUANG LINGKUP .....	1
2. KONDISI UJI .....	1
3. ALAT UJI .....	1
4. CARA UJI .....	2



#### 4. CARA UJI

4.1 Untuk uji unjuk kerja jalan sepeda motor, jarak yang ditempuh 100 km meliputi jalan datar, tanjakan landai, tanjakan tinggi, tikungan, jalan beton, jalan berbatu dan sebagainya.

4.2 Pengukuran dilakukan pada setiap kondisi jalan dan pada total kondisi jalan.

4.3 Pada awal pengujian dan pada setiap perhentian harus diukur dan dicatat mengenai waktu, jarak, konsumsi bahan bakar, suhu busi, suhu minyak pelumas mesin dan transmisi, kondisi jalan dan suhu udara sekitar serta cuaca.

4.4 Pada saat pengujian, harus diperhatikan terutama pada mesin, kopling, pergantian gigi, pengereman, kemampuan pengendalian, stabilitas kendaraan, percepatan, kenyamanan berkendara dan kondisi jalan.

4.5 Hasil harus diperhatikan dan dicatat adanya perubahan dari komponen sepeda motor setelah pengujian.

4.6 Hasil uji harus dimasukkan dalam tabel berikut ini.

## CARA UJI UNJUK KERJA JALAN SEPEDA MOTOR

### 1. RUANG LINGKUP

Standar ini meliputi kondisi uji, alat uji dan cara uji unjuk kerja jalan untuk sepeda motor.

### 2. KONDISI UJI

2.1 Berat Pengendara ( $55 \pm 5$ ) kg

2.2 Kondisi sepeda motor harus sesuai dengan spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengujian, sepeda motor sudah harus beroperasi pada normalnya.

2.3 Tempat uji meliputi jalan datar, tanjakan landai, tanjakan tinggi, tikungan, jalan beton, jalan berbatu dan sebagainya.

### 3. ALAT UJI

3.1 Perlengkapan Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar

3.2 Alat pencatat waktu otomatis/manual dengan ketelitian minimal 1/100 sekon.

3.3 Alat Pengukur Jarak

3.4 Alat Pengukur Suhu


# SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 03-1400-1995

ICS

---



## Cara uji percepatan sepeda motor roda dua

---

Dewan Standardisasi Nasional



## DAFTAR ISI

	Halaman
Pendahuluan	
1. Ruang Lingkup	1
2. Kondisi Pengujian	1
3. Alat Uji	1
4. Cara Uji	1
4.1. Uji Percepatan Dengan Kecepatan Awal = 0 Km/jam	1
4.2. Uji Percepatan Dengan Kecepatan Awal = n Km/jam	1
5. Data Hasil Uji	Lampiran

## CARA UJI PERCEPATAN SEPEDA MOTOR RODA DUA

1. RUANG LINGKUP  
Standar ini meliputi kondisi uji, alat uji dan cara uji percepatan sepeda motor roda dua.
2. KONDISI PENGUJIAN  
Pengujian percepatan harus dilakukan dengan kondisi sebagai berikut :
  - 2.1. Berat pengendara,  $55 \pm 5$  kg
  - 2.2. Kecepatan angin  $< 3$  m/sekon
  - 2.3. Kondisi sepeda motor harus sesuai dengan spesifikasi pabrik dan sebelum dilakukan pengukuran, sepeda motor harus sudah beroperasi pada suhu normalnya.
  - 2.4. Tempat pengujian mempunyai lintasan jalan lurus, rata, datar dan dikeraskan.
3. ALAT UJI  
Alat uji percepatan sepeda motor roda dua meliputi :
  - 3.1. Alat pengukur jarak
  - 3.2. Alat pengukur waktu otomatis/manual, dengan ketelitian minimal  $1/100$  sekon
4. CARA UJI
  - 4.1. Uji percepatan, dengan kecepatan awal = 0 km/jam.  
Pengujian ini dilakukan dari sepeda motor dalam keadaan berhenti ( $v = 0$  km/jam), kemudian dijalankan dengan kecepatan penuh, mulai dari gigi yang paling kecil hingga gigi tertentu, untuk menghasilkan percepatan sesegera mungkin dan kecepatan paling optimal sampai titik akhir pencatatan.  
Pencatatan waktu tempuh dapat dilakukan pada jarak 50 m, 100 m, 200 m hingga 400 m dari titik awal 0.
  - 4.2. Uji percepatan, dengan kecepatan awal = n km/jam.  
Pengujian ini dilakukan mulai dari sepeda motor dalam kecepatan awal tetap/konstan =  $n + 2$  km/jam, pada posisi gigi transmisi tertinggi.  
Sampai pada titik awal pencatatan (0 m), dilakukan percepatan penuh untuk menghasilkan percepatan yang sesegera mungkin, dan kecepatan paling optimal sampai pada titik akhir pencatatan.

Pencatatan waktu tempuh dilakukan dengan jarak pencatatan seperti pada point 4.1. Jika pengujian pada awal titik pencatat (0 m) dilakukan pada posisi gigi transmisi selain dari posisi gigi tertinggi, kondisi ini harus dicatat pada lembar data.

Kecepatan awal tetap/konstan yang ditentukan ( $n + 2$  km/jam) harus dapat dicapai, dengan pemantauan kecepatan awal pada jarak 1 m atau 2 m jika menggunakan alat penghitung waktu otomatis, atau 50 m jika menggunakan alat manual.

5. DATA HASIL UJI DITULIS SEPERTI LAMPIRAN.



