



**PENINGKATAN UNJUK KERJA MOTOR BENSIN DENGAN
PENAMBAHAN CAMPURAN LPG-UDARA**

SKRIPSI

Oleh :
Agus Subekti Prakoso
NIM 121910101024

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**PENINGKATAN UNJUK KERJA MOTOR BENSIN DENGAN
PENAMBAHAN CAMPURAN LPG-UDARA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana

Oleh:
Agus Subekti Prakoso
121910101024

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya yakni Suranto Pramono dan Sri Partini, dan ketiga kakak saya yakni Wahyu Setyono, Denny Prasetyo dan Lilik Andriyanto beserta istri masing-masing yang telah memberikan dan mengajarkan segalanya serta menemani saya hingga saat ini.
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc selaku dosen pembimbing utama dan Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota atas segala bimbingan dan masukan selama saya mengerjakan tugas akhir, serta bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng selaku dosen penguji utama dan bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T selaku dosen penguji anggota yang senantiasa membantu memberi saran atas tugas akhir saya.
3. Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta pengalaman baik di dalam maupun diluar kegiatan perkuliahan.
4. Keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2012 dan 2013 yang senantiasa menjadi sahabat, teman, dan saudara.
5. Teman-teman KKN 113, “Power Ranger” dan “Team Anchor” yang senantiasa memberi suasana senang dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
6. Pihak – pihak yang berada di belakang saya yang senantiasa membantu baik dalam keadaan susah maupun senang.

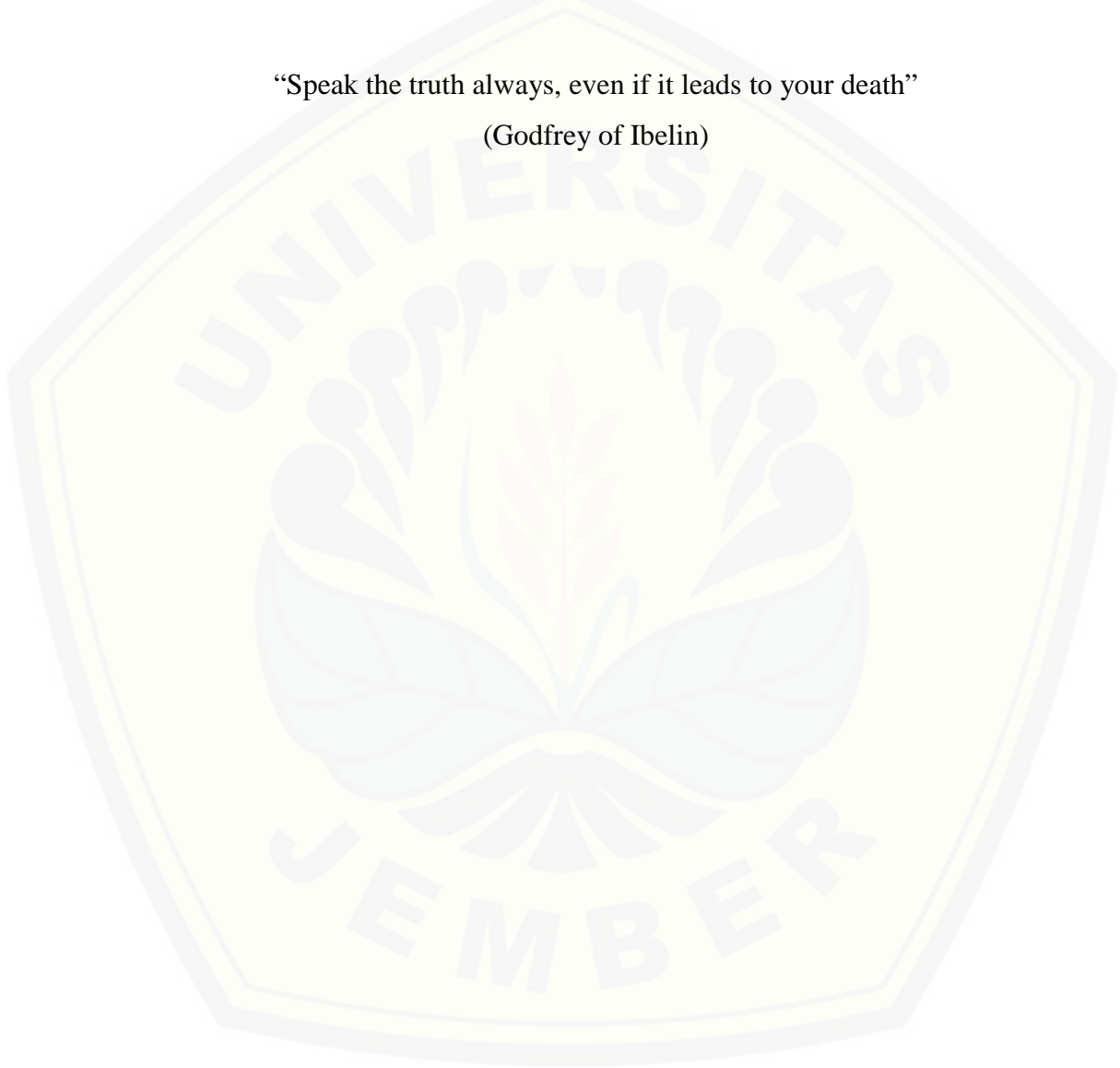
MOTTO

“Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?”

(QS. Ar-Rahman [55])

“Speak the truth always, even if it leads to your death”

(Godfrey of Ibelin)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Agus Subekti Prakoso

NIM : 121910101024

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Peningkatan Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Penambahan Campuran LPG-Udara” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Januari 2018
Yang menyatakan,

(Agus Subekti Prakoso)
121910101024

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Peningkatan Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Penambahan Campuran LPG-Udara” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 23 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

NIP 19680617 199501 1 001

NIP 197700228 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

NIP 19650120 200112 1 001

NIP 19850117 201212 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM.

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Peningkatan Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Penambahan Campuran LPG-Udara; Agus Subekti Prakoso, 121910101024; 2018: 70 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui yang mana semakin tahun semakin menipis ketersediaannya karena untuk memenuhi kebutuhan dunia akan minyak. LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan salah satu energi alternatif yang perlu dioptimalkan. Salah satu cara mengatasi masalah ini yaitu menambahkan campuran LPG-udara pada motor bensin dengan cara menyuntikan gas tersebut melalui *intake manifold*.

Penelitian ini dilakukan dengan cara menyuntikkan campuran LPG-Udara dengan debit LPG-Udara masing-masing 10ml/menit-155ml/menit, 20ml/menit-310ml/menit dan 30ml/menit-465ml/menit yang diatur oleh *flowmeter*. Kemudian dilakukan uji unjuk kerja kendaraan bermotor tanpa penambahan campuran LPG-udara dan menggunakan penambahan campuran LPG-udara yaitu berupa torsi, daya efektif, *fuel consumption* dan kadar emisi gas buang.

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu peningkatan torsi maksimum dan daya efektif maksimum dicapai pada campuran LPG-udara 20 ml/menit dengan nilai torsi sebesar 6,32 N.m pada putaran mesin 5000 rpm atau meningkat 8,28% dan nilai daya sebesar 5,73 HP pada putaran mesin 7000 rpm atau meningkat 8,73% dibandingkan kondisi standar. Penurunan *fuel consumption* (FC) dan kadar emisi gas buang (CO dan HC) rata-rata tertinggi dicapai oleh campuran LPG-udara 30 ml/menit dengan nilai FC sebesar 0,68 kg/jam atau lebih irit 5,9%, nilai kadar CO sebesar 0,24% dan HC sebesar 763 ppm atau penurunan CO sebesar 22,58% dan HC sebesar 9,17%.

SUMMARY

Improved Performance of Gasoline Motor with The Addition of LPG-Air Mixture; Agus Subekti Prakoso, 121910101024; 2018: 70 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Petroleum is one of the non-renewable natural resources which is increasingly depleted in years to meet the world's need for oil. LPG (Liquified Petroleum Gas) is one of the alternative energy that needs to be optimized. One way to solve this problem is to add a mixture of LPG-Air to the gasoline motor by injecting the gas through the intake manifold.

This research was conducted by injecting LPG-Air mixture with debit of LPG-air respectively 10 ml/min-155 ml/min, 20 ml/min-310 ml/min and 30 ml/min-465 ml/min arranged by flowmeter. Then tested the performance of motor vehicles without and using the addition of LPG-Air mixture that is in the form of torque, effective power, fuel consumption and exhaust gas emission level.

The conclusion of this research is the increase of maximum torque and maximum effective power is achieved at 20 ml/min LPG-Air mixture with a torque value is 6,32 N.m at 5000 rpm or increased by 8,28% and power value is 8,73 HP at 7000 rpm or increased 8,73% compared to standard condition. The highest average fuel consumption (FC) and exhaust emission (CO and HC) were achieved by 30 ml/min LPG-Air mixture with FC value is 0,68 kg/hour or 5,9% more efficient, CO equal to 0,24% and HC equal to 763 ppm or decrease of CO 22,58% and HC 9,17%.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Polusi Udara	4
2.2 Motor Bensin	6
2.2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah.....	7

2.2.2 Karburator.....	9
2.2.3 Proses Pembakaran pada Motor Bensin	11
2.3 Prinsip Pengujian <i>Dynotest</i>.....	12
2.4 Parameter Unjuk Kerja Motor Pembakaran Dalam.....	15
2.4.1 Torsi	15
2.4.2 Daya Efektif (Ne)	16
2.4.3 <i>Fuel Consumption</i> (FC).....	16
2.5 Emisi Gas Buang dari Motor Bakar.....	17
2.5.1 Karbon Monoksida.....	17
2.5.2 Hidrokarbon.....	19
2.6 Premium (RON 88).....	20
2.7 LPG (<i>Liquid Petroleum Gas</i>)	21
2.8 Stoikiometri.....	24
2.9 Penelitian Terdahulu.....	25
2.10 Hipotesis.....	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Metode Penelitian.....	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.3.1 Alat.....	28
3.3.2 Bahan.....	31
3.4 Variabel Penelitian	31
3.4.1 Variabel Bebas	31
3.4.2 Variabel Terikat.....	32
3.4.3 Variabel Kontrol.....	32

3.5 Prosedur Pengujian	32
3.5.1 Tahap Pengujian.....	32
3.5.2 Tahap Tabulasi Data.....	36
3.6 Skema Alat Uji	38
3.7 Desain Pencampur LPG dan Udara	39
3.8 Diagram Alir Penelitian	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Momen Putar (Torsi)	41
4.2 Daya Efektif	44
4.3 Analisa Hasil Uji Kadar Emisi Gas Buang	48
4.4 Analisa Hasil Pengujian <i>Fuel Consumption</i> (FC)	50
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah.....	7
Gambar 2.2 Komponen-komponen Utama Karburator.....	10
Gambar 2.3 <i>Engine Dynamometer</i> dan <i>Chassis Dynamometer</i>	13
Gambar 2.4 <i>Roller</i> pada <i>Dynamometer</i>	14
Gambar 2.5 Konsol pengonversi dan Komputer (<i>Out PC</i>).....	14
Gambar 3.1 <i>Flowmeter</i> LPG dan <i>Flowmeter</i> Udara merek KOFLOC.....	30
Gambar 3.2 Texa Gasbox Autopower.....	31
Gambar 3.3 Skema Alat Uji.....	38
Gambar 3.4 Desain Pencampur (<i>mixer</i>) LPG dan Udara.....	39
Gambar 3.4 Bagan Alir Metode Penelitian.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber-Sumber Polusi Udara.....	5
Tabel 2.2 Komposisi Gas Buang Dari Motor Bensin pada Berbagai Model Pengendaraan.....	5
Tabel 2.3 Spesifikasi Bahan Bakar Premium.....	21
Tabel 2.4 Data Karakteristik LPG Pertamina.....	24
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Torsi Rata-rata.....	36
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Daya Rata-rata.....	36
Tabel 3.3 Hasil Pengujian <i>Fuel Consumption</i> Rata-rata.....	37
Tabel 3.4 Hasil Pengujian Kadar Emisi Gas Buang Rata-rata.....	37

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Ketersediaannya semakin tahun semakin menipis akibat adanya eksploitasi besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan minyak dunia yang mencapai 90 juta barel per hari. Di Indonesia sendiri kebutuhan akan bahan bakar minyak sebanyak 1,6 juta barel per hari, dan hanya 850 ribu barel per hari yang dapat diproduksi di dalam negeri. Perlu adanya strategi untuk mengamankan pasokan minyak tersebut.

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan gas bumi yang dicairkan. Komposisinya adalah campuran dari banyak gas, hanya saja didominasi oleh propana dan butana (Morganti, 2014). Di Indonesia sendiri cadangan gas alam mencapai 2,8 triliun meter kubik memasuki 20 besar negara-negara dengan cadangan gas alam terbesar. Menurut Gumus (2011), LPG mempunyai keuntungan-keuntungan seperti tingginya nilai pembakaran, tingginya angka oktan, akumulasi karbon rendah, mudah disimpan dan rendah biaya. Hal ini membuat pemanfaatan bahan bakar LPG sebagai bahan bakar alternatif perlu dioptimalkan.

Ketidaksempurnaan proses pembakaran bahan bakar pada motor pembakaran internal adalah penyebab menurunnya efisiensi unjuk kerja motor bakar. Penyebab dari ketidaksempurnaan pembakaran ini yaitu keterbatasan waktu pembakaran, *overlapping* katup, terbakarnya bahan bakar sebelum waktu pembakaran (*Auto Ignition*), kompresi tidak terjamin rapat sempurna, kontaminasi pelumas dan banyak lagi.

Terbakarnya bahan bakar sebelum waktu pembakaran (*Auto Ignition*) merupakan salah satu penyebab ketidaksempurnaan pembakaran. Hal ini terjadi karena penggunaan bahan bakar bernilai RON (*Research Octane Number*) yang tidak sesuai dengan rasio kompresi ruang bakar kendaraan bermotor, sehingga

menyebabkan detonasi pada mesin, pembentukan kerak karbon pada dinding ruang bakar, mengurangi keefisienan tenaga, dan juga sebagai penyebab ketidaksempurnaan pembakaran. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan bahan bakar bernilai RON sesuai rasio kompresi ruang bakar. Menurut Beccari (2015), penambahan dari gas pada bensin meningkatkan resistansi terhadap detonasi.

Akan tetapi LPG juga mempunyai kelemahan dibandingkan dengan bahan bakar *petrol*/bensin. Menurut Sulaiman (2013) pengaplikasian dari LPG pada motor bensin secara umum menyebabkan menurunnya tenaga yang dikeluarkan, dikarenakan lebih rendahnya efisiensi volumetrik dan tidak dirubahnya waktu pembakaran (*ignition timing*) ataupun rasio kompresi dari mesin. Namun mesin berbahan bakar LPG mengkonsumsi lebih sedikit bahan bakar untuk menghasilkan tenaga yang sama dibandingkan dengan mesin berbahan bakar bensin. Untuk mendapatkan performa yang lebih baik, mesin harus didesain sesuai dengan karakteristik LPG atau mengambil keuntungan dari penggunaan *bi-fuel system* (sistem dua bahan bakar) yaitu bensin dan LPG.

Salah satu cara mengatasi masalah rendahnya efisiensi unjuk kerja kendaraan bermotor ini yaitu menambahkan campuran LPG-udara pada motor bensin dengan cara menyuntikan gas tersebut melalui *intake manifold*. Cara tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi unjuk kerja motor bensin yaitu meliputi torsi, daya, *fuel consumption* dan kadar emisi gas buang.

Berdasarkan pada pernyataan diatas maka dilakukan penelitian berskala laboratorium dengan judul: “Peningkatan Unjuk Kerja Mesin Motor Bensin Dengan Penambahan Campuran LPG-Udara”.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian unjuk kerja sebelum dan sesudah dilakukan penambahan campuran LPG-udara. Adapun perumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan campuran LPG-udara terhadap torsi, daya dan *fuel consumption* motor?
2. Bagaimana pengaruh penambahan campuran LPG-udara terhadap kadar emisi CO dan HC motor?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja mesin motor bensin dengan penambahan campuran LPG-udara agar didapatkan debit campuran LPG-udara yang terbaik meliputi torsi, daya, *fuel consumption* dan kadar emisi gas buang.

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Mengurangi penggunaan bahan bakar minyak yang saat ini sudah menipis ketersediaannya.
2. Mendapatkan performa yang lebih baik.
3. Mengurangi emisi gas buang hasil pembakaran penyebab polusi udara.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini antara lain:

1. Analisa unjuk kerja mesin menggunakan motor bensin 4 langkah 110 cc silinder tunggal tahun perakitan 2010, kondisi mesin dianggap standart;
2. Stoikiometri hanya dihitung pada suplemen campuran LPG-udara;
3. Tidak mengukur volume udara yang masuk pada karburator;
4. Emisi gas buang yang diuji adalah CO dan HC;
5. Hanya menganalisa Daya Efektif (HP), Torsi (N.m), kadar emisi gas buang dan *Fuel Consumption* (kg/jam);

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polusi Udara

Pencemaran oleh emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan sumber pencemar utama di beberapa kota besar, tidak saja di Indonesia tetapi juga di negara lain. Beberapa faktor yang berpengaruh pada tingkat pencemaran dari emisi gas buang kendaraan bermotor antara lain teknologi kendaraan bermotor, kualitas bahan bakar, perawatan mesin dan kemacetan akibat dari tingginya populasi kendaraan bermotor.

Sumber-sumber polusi udara dapat berasal dari berbagai sumber, baik dari sumber alami maupun sumber dari aktifitas manusia. Menurut Boedisantoso (2002), sumber polusi alami berasal dari peristiwa alam yang menghasilkan kontaminan-kontaminan seperti spora jamur, serbuk sari, percikan garam, asap dan partikel debu dari kebakaran hutan dan letusan gunung berapi. Selain itu ada karbon monoksida (CO) dari penguraian gas metan (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S) dan metan dari dekomposisi anaerobik zat organik. Polusi udara yang berasal dari aktifitas manusia antara lain berasal dari penggunaan bahan bakar fosil untuk transportasi, industri, konversi energi dan pembakaran limbah.

Menurut Kristanto (2005), 75% kontribusi polusi udara di perkotaan adalah disebabkan oleh kendaraan bermotor. Sektor transportasi memegang peranan besar dalam kontribusi pencemaran udara. Tabel 2.1 menunjukkan sumber-sumber polusi udara, dimana dapat dilihat bahwa sektor transportasi memegang proporsi paling besar dibandingkan dengan sumber polusi lainnya, sedangkan proporsi gas pencemar terbesar adalah karbon monoksida (CO).

Tabel 2.1 Sumber-sumber polusi udara

Sumber	Polutan (juta ton per tahun)				
	CO	Partikel	SO _x	HC	NO _x
Transportasi	43.5	1.5	0.9	5.1	7.3
Sumber Stasiun-Stasiun	4.7	1.1	16.6	0.7	10.6
Pembakaran Proses Industri	4.7	1.9	0.6	7.9	0.6
Pembakaran Sampah	2.1	0.3	0.02	0.7	0.1
Lain-lain (kebakaran hutan, pembakaran di perkebunan, dll)	7.2	0.7	0.01	2.6	0.21
Total	62.1	5.44	20.73	16.9	18.8

Sumber : Nevers, 1995

Kendaraan bermotor berbahan bakar bensin merupakan salah satu kontributor adanya polusi udara dari sektor transportasi. Tabel berikut menunjukkan komposisi gas buang mesin bensin pada berbagai kondisi.

Tabel 2.2 Komposisi gas buang motor bensin pada berbagai model pengendaraan

Exhaust constituents	Driving mode			
	Idle	Acceleration	Cruise	Deceleration
Hydrocarbon (ppm)	300-1000	300-800	250-550	3000-12000
Carbon monoxide (%)	4-9	1-8	1-7	3-4
Carbon dioxide (%)	10	12	12.5	6
Nitrogen oxide (ppm)	10-50	1000-4000	1000-3000	5-50
Oxigen (%)	2	1.5	1.5	8
Exhaust flow (m³/min)	0.185-0.95	1.5-7.5	0.95-2.25	0.185-0.95
Exhaust gas temperature at entrance to silincer (°C)	150-300	450-700	400-600	200-400

Sumber : Heisler, 1995

Untuk menjaga kualitas udara, kendaraan bermotor yang beroperasi di jalan harus memenuhi batas baku mutu emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu berdasar Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no.5 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

2.2 Motor Bensin

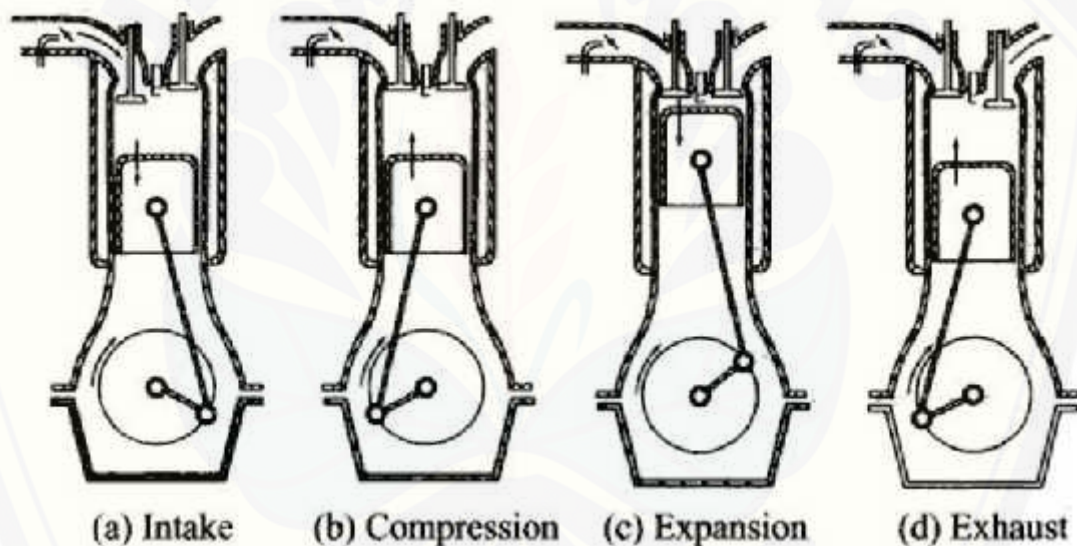
Motor bakar bensin merupakan mesin pembangkit tenaga yang mengubah bahan bakar bensin menjadi tenaga panas dan akhirnya menjadi tenaga mekanik. Secara garis besar motor bensin tersusun oleh beberapa komponen utama meliputi karburator, *intake* manifold, blok silinder (*cylinder block*), kepala silinder (*cylinder head*), poros engkol (*crank shaft*), piston, batang piston (*connecting rod*), roda penerus (*fly wheel*), poros cam (*cam shaft*) dan mekanik katup (*valve mechanic*).

Blok silinder adalah komponen utama motor, sebagai tempat pemasangan piston dan komponen lainnya. Blok silinder mempunyai lubang silinder tempat piston bekerja, bagian bawah terdapat ruang engkol (*crank case*), mempunyai dudukan bantalan (*bearing*) untuk pemasangan poros engkol.

Bagian silinder dikelilingi oleh lubang-lubang saluran air pendingin dan lubang oli. Kepala silinder dipasang di bagian atas blok silinder, kepala silinder terdapat ruang bakar, mempunyai saluran masuk dan buang. Sebagai tempat pemasangan mekanisme katup. Poros engkol dipasang pada dudukan blok silinder bagian bawah yang diikat dengan bantalan. Dipasang pula dengan batang piston bersama piston dan kelengkapannya. Sedangkan roda penerus dipasang pada pangkal poros engkol (*flens crank shaft*). Roda penerus dapat menyimpan tenaga, membawa piston dalam siklus kerja motor, menyeimbangkan putaran dan mengurangi getaran mekanik mesin.

2.2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Motor bensin 4 langkah adalah motor bensin yang bekerja dengan 4 siklus yang berurutan yaitu, hisap, kompresi, kerja dan buang. Titik tertinggi yang dicapai oleh torak tersebut disebut titik mati atas (TMA) dan titik terendah disebut titik mati bawah (TMB). Gerakan dari TMA ke TMB disebut langkah torak (*stroke*). Motor 4 langkah mempunyai 4 langkah dalam satu gerakan yaitu langkah penghisapan, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan. Gambar 2.1 merupakan gambar cara kerja (siklus kerja) motor 4 langkah.



Gambar 2.1 Prinsip kerja motor bensin 4 langkah

Sumber : Ganessan, 2003

1. Langkah hisap (*intake*)

Pada langkah hisap, campuran udara bensin dihisap ke dalam silinder. Langkah hisap dimulai dengan torak bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju TMB (titik mati bawah). Karena pergerakan torak tersebut, maka tekanan pada ruang bakar menurun maka campuran udara dan bahan bakar terhisap masuk ke dalam ruang

bakar. Selama langkah torak ini, katup hisap akan membuka dan katup buang menutup.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Dalam gerakan ini campuran udara bensin yang di dalam silinder dimampatkan oleh torak yang bergerak ke atas dari TMB ke TMA. Kedua katup hisap dan katup buang akan menutup selama gerakan ini tekanan dan suhu campuran udara bensin menjadi naik. Bila tekanan campuran udara bensin ini ditambah lagi, tekanan serta ledakan yang lebih besar lagi dari tenaga yang kuat ini akan mendorong torak ke bawah. Sekarang torak sudah melakukan dua gerakan atau satu putaran, dan poros engkol berputar satu putaran.

3. Langkah Kerja (*expansion*)

Sesaat sebelum torak mencapai TMA (titik mati atas) pada langkah kompresi, busi memercikan bunga api sehingga terjadi proses pembakaran. Akibat tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi, sehingga torak mampu melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi atau langkah kerja. Langkah kerja dimulai dari posisi torak pada TMA dan berakhir di TMB saat katup buang sudah mulai terbuka pada awal langkah buang. Langkah ekspansi disebut juga langkah kerja (*power stroke*).

4. Langkah Buang (*Exhaust*)

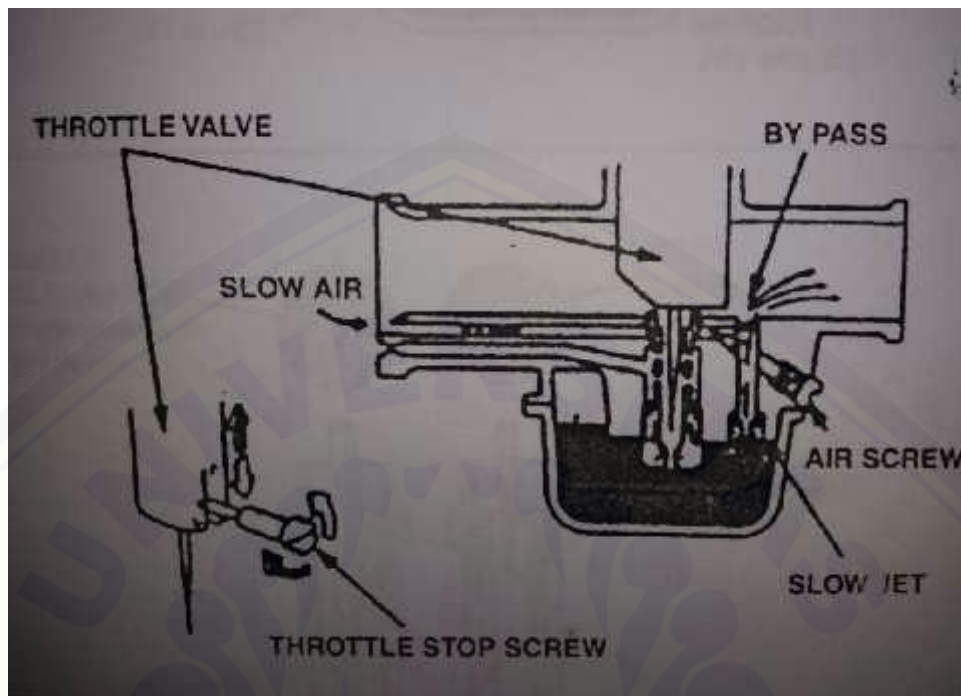
Dalam gerak ini, torak terdorong ke bawah, ke TMB dan naik kembali ke TMA untuk mendorong gas-gas yang telah terbakar dari silinder. Selama gerak ini hanya katup buang saja yang terbuka. Bila torak mencapai TMA sesudah melakukan pekerjaan seperti di atas, torak akan kembali pada keadaan untuk memulai langkah hisap. Sekarang motor telah melakukan 4 gerakan penuh, hisap-kompresi-kerja-buang. Pada motor bakar 4 langkah setiap satu rangkaian siklus menghasilkan dua putaran poros engkol. Di dalam mesin membuka dan menutupnya katup tidak terjadi

tepat pada TMA dan TMB, tetapi akan berlaku lebih cepat atau lambat (*overlapping*), ini dimaksudkan untuk lebih efektif lagi untuk aliran gas.

2.2.2 Karburator

Syarat utama proses pembakaran pada motor bakar adalah tersedianya bahan bakar yang tercampurt dengan baik (homogen) dan tercapainya suhu pembakaran. Karburator pada dasarnya berfungsi menyuplai gas hasil pencampuran bahan bakar dan udara kedalam silinder. Alat ini bekerja menggunakan prinsip Bernoulli, yaitu semakin tinggi kecepatan udara bergerak maka semakin rendah tekanan statisnya, namun semakin tinggi tekanan dinamisnya.

Karburator dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjaga kondisi campuran bahan bakar dan udara seideal mungkin, pada setiap kondisi beban/putaran mesin. Untuk itu diperlukan komponen-komponen yang membentuk suatu sistem untuk memenuhi tuntutan tersebut yaitu ruang bahan bakar, pelampung, katup pelampung, katup *choke*, katup piston (*throttle valve*), jarum skep (jet needle), *main jet*, *pilot jet*, sekrup pengatur *throttle valve* dan sekrup pengatur *pilot jet*.



Gambar 2.2 Komponen-komponen Utama Karburator

Cara kerja karburator dibedakan menjadi tiga bagian yaitu saat putaran lambat, putaran menengah dan putaran tinggi. Pada kondisi lambat *throttle valve* tertutup, udara mengalir melalui saluran udara kecil (*slow air bleed*) menuju saluran *pilot jet*. Bila putaran lambat tidak sesuai dengan ketentuan, koreksi dapat dilakukan dengan memutar sekrup *throttle valve* hingga diperoleh putaran mesin yang tepat. Pada kondisi putaran menengah posisi *throttle valve* berada di setengah dari lintasan maksimumnya yang mengakibatkan udara mengalir melalui saluran venturi dan saluran udara kecil (*slow air bleed*). Jumlah bahan bakar yang keluar dari saluran utama akan diatur oleh jarum skep yang berbentuk tirus. Pada kondisi putaran tinggi *throttle valve* terbuka penuh dan jarum skep terangkat seluruhnya sehingga lubang main jet tidak lagi terhalangi oleh jarum skep.

2.2.3 Proses Pembakaran pada Motor Bensin

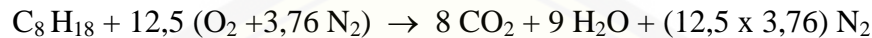
Pembakaran didefinisikan sebagai kombinasi kimia yang relatif cepat antara hidrogen dan karbon di bahan bakar dengan oksigen yang menghasilkan pembebasan energi dalam bentuk panas. Pada motor bensin terjadi konversi energi dari energi panas ke energi mekanik berupa gerak *reciprocating* torak pada silinder ruang bakar. Energi panas diperoleh dari pembakaran sejumlah bahan bakar yang telah bercampur dengan udara yang diawali oleh percikan bunga api dari busi (*spark plug*). Pada proses tersebut terjadi reaksi kimia yang cepat antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen yang terkandung dalam udara. Kondisi yang harus ada untuk dapat terjadinya proses pembakaran di motor bensin adalah :

1. Adanya campuran bahan bakar dan udara masuk dalam silinder
2. Campuran dikompresikan
3. Bahan bakar dinyalakan dengan bunga api listrik (busi).

Bensin yang dibakar dalam suatu mesin mengandung banyak bahan kimia, meskipun sebagian besar terdiri dari hidrokarbon (HC). Hidrokarbon adalah campuran bahan kimia antara atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon. Terdapat banyak perbedaan tipe dari campuran hidrokarbon dalam bensin, tergantung pada prosentase jumlah atom hidrogen dan atom karbon, dan bagaimana atom-atom tersebut berikatan.

Hidrokarbon dalam bahan bakar seharusnya bereaksi hanya dengan oksigen selama proses pembakaran untuk membentuk uap air (H_2O) dan karbon dioksida (CO_2), menciptakan efek panas dan tekanan yang diinginkan dalam silinder. Tetapi dalam kondisi operasi mesin tertentu, nitrogen juga berreaksi dengan oksigen membentuk nitrogen oksides (NO_x) sebagai salah satu polutan. Total energi yang dilepaskan oleh proses pembakaran, sekitar 25% digunakan untuk menggerakkan motor, sisanya 75% hilang karena *friction*, *aerodynamic drag*, *accessory operation* atau hilang karena perpindahan panas ke sistem pendingin. Pembakaran terjadi

karena ada tiga komponen, yaitu bahan bakar, oksigen dan panas. Bahan bakar standart motor bensin adalah isooktan (C_8H_{18}), persamaan reaksi pembakarannya dengan udara adalah



Pada kenyataannya bahwa pembakaran mesin tidak pernah terjadi secara sempurna hal ini disebabkan:

- a. Waktu pembakaran yang singkat;
- b. *Overlapping* katup;
- c. Udara yang masuk tidak murni oksigen;
- d. Bahan bakar yang masuk tidak murni oktan (C_8H_{18});
- e. Kompresi tidak terjamin rapat sempurna.

2.3 Prinsip Pengujian *Dynotest*

Dynamometer adalah alat yang diciptakan untuk menghitung torsi dan tenaga mesin maksimal yang didapatkan pada putaran mesin tertentu. Oleh karena itu *dynamometer* menjadi patokan banyak kalangan saat melakukan modifikasi pada mesin khususnya yang mengacu pada peningkatan performa. Berdasarkan pada prinsip kerjanya, *dynamometer* dibagi menjadi dua. *Brake based dynamometer* dan *inertia dynamometer*.

Inertia dynamometer memanfaatkan gaya inersia dari Putaran *roller* yang nantinya di kalkulasi ke dalam *software dyno* dan harus distandarisasi dengan diberi beban tambahan berupa bobot *roller* itu sendiri. Pada *brake based dynamometer* beban tersebut didapat dari penambahan beban gesek. Ada yang menggunakan air, angin, elektrik dan banyak lagi media yang di pakai untuk menambah gesekan. Pada *inertia dynamometer*, gaya inersia dari *roller* ini sekaligus menjadi patokan kalibrasi antara satu *dynamometer* dengan *dynamometer* lainnya.

Sebelum mengenal perangkat *dynamometer* satu persatu. Kita harus tahu bahwa ada dua jenis *dynamometer*. Yaitu *engine dynamometer* dan *chassis dynamometer*. Keduanya dibedakan oleh cara melakukan pengukuran.



Gambar 2.3 *Engine Dynamometer Dan Chassis Dynamometer.*

Pada *engine dynamometer* hanya mesin saja yang diukur. Sebelum diukur, mesin harus dilepas dari *chassis* atau rangka kendaraan. Sedangkan pada *chassis dynamometer* kendaraan langsung diukur melalui penyalur daya terakhir yaitu roda. Pada *chassis dynamometer* biasanya terdapat tenaga yang hilang pada penyalur daya seperti pada kopling, *gear box*, rantai gear, roda dan lain-lain. Akan tetapi *Chassis dynamometer* masih menjadi pilihan dengan pertimbangan lebih praktis tanpa perlu mencopot mesin. Karena itulah di Indonesia banyak yang menggunakan *inertia dynamometer*.



Gambar 2.4 *Roller Pada Dynamometer.*

Pertama harus ada adalah meja yang mampu mengikat sepeda motor dengan kuat. Meski roda berputar pada roler, namun tanpa pengikat yang kuat dikhawatirkan bila ban terlepas dari *roller*, sepeda motor akan terlempar. Selain itu adalah *roller* (Gambar 2.4) yang berada di meja. Bobot *roller* sudah memiliki standar baku. Putaran dari *roller* ini lalu dikirimkan sekaligus dikonfersikan menuju konsol *dynamometer*.



Gambar 2.5 Konsol Pengonversi Dan Komputer (*Out Pc*).

Dalam konsol (Gambar 2.5) ini juga menerima berbagai macam data dari sensor suhu dari knalpot, bak mesin dan suhu udara sekitar. Selain itu terdapat pula sensor putaran mesin dan lain sebagainya. Data dari konsol tersebut lalu ditampilkan melalui *software* yang bisa dibuka dengan perangkat *personal computer* (PC). Di dalam *software* yang didapat satu paket dengan konsol ini bisa membaca berbagai macam data.

Masalah besar yang sering terjadi pada penggunaan *inertia dynamometer* adalah slip pada ban. Kita ketahui bahwa permukaan dari *roller* adalah besi yang memiliki grip yang halus, jika digunakan terus menerus akan menjadi licin. Efek dari ban slip ini cukup kompleks sehingga grafik yang dihasilkan tidak bagus. Namun hal ini dapat diminimalisir dengan menggunakan ban yang memiliki tapak permukaan yang lebar dan tekanan ban yang tepat.

2.4 Parameter Unjuk Kerja Motor Pembakaran Dalam

Karakteristik suatu motor pembakaran dalam dapat diketahui melalui parameter-parameter unjuk kerjanya (*performance*), sehingga dapat ditentukan bagaimana keadaan yang paling ideal. Dengan diketahuinya keadaan paling ideal tersebut maka pemakaian mesin dapat seefisien mungkin.

Untuk dapat menentukan karakteristik unjuk kerja suatu motor pembakaran dalam maka dibutuhkan beberapa parameter, antara lain :

- Torsi
- Daya efektif poros
- *Fuel consumption*

2.4.1 Torsi (T)

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan putaran. Dalam penelitian ini, torsi merupakan perkalian antara momen inersia dengan percepatan sudut dari *roller dynamometer*, karena *roller dynamometer* bekerja dengan sistem *roller* untuk mengukur suatu gaya yang dihasilkan oleh mesin, sehingga dapat ditentukan torsi dan daya yang bekerja pada *roller* tersebut.

$$T = I \cdot \alpha \quad (\text{Kg m}) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{Dengan } I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

Keterangan :

T = Torsi yang dihasilkan (kg m)

I = Inersia roller (kg.m²)

= Percepatan sudut (rad/s²)

m = Massa (kg)

r = Jari-jari roller (m)

2.3.2 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan angular poros () dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ne = T \cdot \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{\lambda} (Hp) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

= Faktor konversi

$$= 75 \times 60 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m/detik}}{\text{hp}} \right] \quad \text{atau} \quad 746 \times 60 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m/detik}}{\text{hp}} \right]$$

$$\text{atau} \quad 550 \times 60 \text{s} \left[\frac{\text{ft} \cdot \text{lb/detik}}{\text{hp}} \right]$$

Karena dalam pengujian ini menggunakan faktor satuan N dan m, sehingga jika diaplikasikan kedalam rumus menjadi:

$$Ne = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{7 \times 6} = \frac{T \times n}{7 \times 9} (HP)$$

Keterangan :

Ne = Daya efektif (Hp)

T = Torsi (kg m)

n = putaran mesin (RPM)

2.3.3 Fuel consumption (FC)

Fuel consumption adalah pengujian konsumsi bahan bakar yang digunakan pada waktu tertentu:

$$F = \frac{3,6 \cdot V \cdot \delta}{t} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

V = Volume (ml)

ξ = Berat jenis bahan bakar (kg/l)

t = Waktu (s)

2.5 Emisi Gas Buang dari Motor Bakar

Gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas, yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Gas yang menjadi polusi tersebut merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara disekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon (C_xH_y) yang juga mengandung unsur lain yang terikat didalamnya.

Pada saat reaksi pembakaran, temperatur fluida yang terbakar menjadi sangat tinggi pada saat itulah dengan mudah terbentuk oksida-oksida dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dan udara. Oksida-oksida tersebut yang antara lain SO_x , CO_x dan NO_x mempunyai sifat yang merugikan terhadap lingkungan hidup yang berarti bersifat polusi.

2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) dihasilkan dalam jumlah yang signifikan, terutama jika proses terjadi dalam kondisi kekurangan oksigen (campuran kaya). Gas ini bersifat racun dan jika jumlahnya di dalam darah lebih besar dari oksigen maka akan mengganggu pernafasan.

Karbon monoksida dari asap kendaraan bermotor terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna, yang disebabkan oleh kurangnya jumlah udara dalam campuran yang masuk ke ruang bakar, atau bisa juga karena kurangnya waktu yang

tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Konsentrasi CO di dalam gas buang dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Kondisi operasi mesin

Emisi CO tinggi ketika *idling* dan mencapai minimum saat akselerasi dan pada kecepatan konstan (*steady speed*). Pada saat perlambatan dari kecepatan tinggi ke kecepatan rendah (*deceleration*), akan terjadi proses penutupan *throttle* yang akan mengurangi suplai oksigen ke ruang bakar, sehingga pada saat inilah dihasilkan kadar CO yang paling tinggi.

2. *Air-fuel ratio* (A/F) dan homogenitas

Karbon monoksida juga sangat ditentukan oleh kualitas campuran, homogenitas dan A/F . Semakin bagus kualitas campuran dan homogenitas akan mempermudah oksigen untuk berreaksi dengan karbon. Jumlah oksigen dalam campuran (A/F) juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO).

3. Disosiasi

Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi (melepaskan diri) membentuk karbon monoksida dan oksigen.

2.5.2 Hidrokarbon (HC)

Gas buang hasil pembakaran kendaraan bermotor mengandung berbagai macam senyawa hidrokarbon (HC). Polutan hidrokarbon (HC) berasal dari beberapa

sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada motor bensin sebagai berikut :

- HC dalam volume *crevice*

Volume *crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang merupakan sumber utama munculnya HC dalam gas buang. Volume *crevice* yang paling utama adalah volume diantara piston, ring piston dan dinding silinder.

Selama proses kompresi dan pembakaran, *unburned mixture* ditekan dan masuk ke dalam volume *crevice*. *Unburned mixture* yang ada dalam volume *crevice* tersebut menjadi dingin akibat *heat transfer* ke dinding ruang bakar yang terdekat. Ketika api sampai pada *crevice*, api tersebut tidak dapat berpropagasi ke dalam *crevice* dan secara keseluruhan atau sebagian tidak dapat membakar bahan bakar dalam *crevice* atau justru api tersebut terdinginkan pada masukan *crevice* sehingga api tersebut padam. *Unburn hydrocarbon* yang terbentuk dalam volume *crevice* ini merupakan penyebab utama munculnya *Unburn hydrocarbon* dalam gas buang. Gas-gas yang terperangkap dalam volume *crevice* ini akan meninggalkan volume *crevice* tersebut saat langkah ekspansi dan pembuangan.

- Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar

Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss* (*wall quenching*), sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian. Lapisan tipis inilah yang merupakan sumber polutan HC.

- Penyerapan uap bahan bakar kedalam lapisan oli pada dinding ruang bakar

Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.

- Pembakaran yang tidak sempurna

Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, *air fuel ratio* dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder menurun selama langkah ekspansi, temperatur *unburned mixture* menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur *unburned* yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam. Hal ini dapat menyebabkan konsentrasi HC dalam gas buang meningkat tajam. Proses atau fenomena ini disebut sebagai *bulk quenching*.

Satu teknik nyata untuk menurunkan konsentrasi HC adalah membakar campuran bahan bakar udara dengan lebih cepat sehingga pembakaran diselesaikan sebelum tercapai kondisi pembakaran lambat atau pembakaran sebagian karena temperatur *unburned mixture* didepan yang terlalu rendah. Dalam prakteknya pembakaran sebagian (*partial burning*) tetap terjadi walaupun laju pembakarannya normal. Oleh sebab itu diperlukan pembakaran cepat untuk menurunkan konsentrasi HC.

2.6 Premium (RON 88)

Premium merupakan bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut diakibatkan adanya zat pewarna tambahan. Penggunaan premium pada umumnya untuk bahan bakar kendaraan bermotor berbahan bakar bensin. Berikut ini Tabel 2. merupakan spesifikasi dari premium.

Tabel 2.3 Spesifikasi Bahan Bakar Premium

		PT. PERTAMINA (PERSERO) Direktorat – Pemasaran dan Niaga		Tanggal Pembuatan : Juni 2007 Revisi ke : - Halaman : 5 dari 9			
9. DATA FISIK DAN KIMIAWI							
KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN				METODE UJI	
		TANPA TIMBAL		BERTIMBAL		ASTM	LAIN
		MIN	MAKS	MIN	MAKS		
1. Bilangan Oktana - Angka Oktana Riset (RON) - Angka Oktana Motor (MON)	RON	88,0	dilaporkan	88,0	-	D 2699-86 D 2700-86	
2. Stabilitas Oksida (Periode Induksi)	menit	360	-	360	-	D 525-99	
3. Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	-	0,05 ¹⁾	D 2622-98	
4. Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013	-	0,3	D 3237-97 D 86-99a	
5. Distilasi :							
10% vol. Penguapan	°C	-	74	-	74		
50% vol. penguapan	°C	88	125	88	125		
90% vol. Penguapan	°C	-	180	-	180		
Titik didih akhir	°C	-	215	-	205		
Residu	% vol	-	2,0	-	2,0		
6. Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,72 ²⁾	-	2,7 ²⁾	D 4815-94a	
7. Washed gum	mg/100ml	-	5	-	5	D 381-99	
8. Tekanan Uap	kPa	-	62	-	62	D 5191/D 323	
9. Berat Jenis pada suhu 15°C	kg/m ³	715	780	715	780	D 4052/D 1298	
10. Korosi bilah tembaga	menit	Kelas 1		Kelas 1		D-130-94	
11. Uji Doctor		negatif		negatif			IP 30
12. Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002	-	0,002	D-3227	
13. Penampilan visual		Jernih & terang		Jernih & terang			
14. Warna		Merah		Merah			
15. kandungan pewarna	gr/100 l	0,13		0,13			
16. Bau		dapat dipasarkan		dapat dipasarkan			

2.7 LPG (Liquified Petroleum Gas)

Australia adalah salah satu contoh yang menarik bila dilihat dari sudut kecukupannya terhadap ketersediaan gas alam meskipun terkadang masih mengimpor ketika ada fluktuasi kebutuhan dan atau kerusakan pada kilang minyak mereka.

Australia telah banyak mengaplikasikan penggunaan LPG sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Sebagai contoh, seluruh taksi di negara bagian Victoria berbahan bakar LPG. Selain itu, keputusan Australia untuk menggunakan bahan bakar gas juga didorong oleh keinginan mereka untuk menciptakan udara kota yang lebih bersih dari polutan yang banyak dikeluarkan oleh kendaraan bermotor yang berbahan bakar cair utamanya diesel dan bensin. Australia termasuk negara maju

meskipun bukan anggota G7 sehingga dapat dijadikan acuan oleh Indonesia dalam segala aspek terkait dengan aplikasi bahan bakar gas untuk kendaraan bermotor utamanya dalam hal *research* dan *development* serta kebijakan publik.

LPG adalah kependekan dari *Liquefied Petroleum Gas*, merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak atau kilang gas, yang komponen utamanya adalah gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) yang dicairkan. Komponen-komponen penyusun LPG berada pada fasa gas pada temperatur dan tekanan normal tapi dengan mudah dapat dicairkan untuk penyimpanan dengan menaikkan tekanan sampai sekitar 8 atm atau dengan menurunkan temperatur. Di Australia, LPG yang dipergunakan sebagai bahan bakar kendaraan disimpan suatu tanki baja dalam keadaan cair tetapi kemudian dikonversikan menjadi fasa gas melalui suatu regulator sebelum disalurkan ke mixer gas-udara (seperti halnya karburator kendaraan) untuk kemudian dialirkan ke mesin.

Berdasarkan komposisi propane dan butane, LPG dapat dibedakan menjadi tiga macam:

- LPG propane, yang sebagian besar terdiri dari C_3H_8
- LPG butane, yang sebagian besar terdiri dari C_4H_{10}
- Mix LPG, yang merupakan campuran dari propane dan butane.

LPG butane dan LPG mix biasanya dipergunakan oleh masyarakat umum untuk bahan bakar memasak, sedangkan LPG propane biasanya dipergunakan di industri-industri sebagai pendingin, bahan bakar pemotong, untuk menyemprot cat dan lainnya.

Pada suhu kamar, LPG akan berbentuk gas. Pengubahan bentuk LPG menjadi cair adalah untuk mempermudah pendistribusiannya. Berdasarkan cara pencairannya, LPG dibedakan menjadi dua, yaitu

- a. *LPG Pressurized.*
- b. *LPG Refrigerated.*

LPG *Pressurized* adalah LPG yang dicairkan dengan cara ditekan (4-5 kg/cm²). LPG jenis ini disimpan dalam tabung atau tanki khusus bertekanan. LPG jenis inilah yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di rumah tangga dan industri, karena penyimpanan dan penggunaannya tidak memerlukan penanganan khusus seperti *refrigerated*.

LPG *Refrigerated* adalah LPG yang dicairkan dengan cara didinginkan (titik cair Propana $\pm -42^{\circ}\text{C}$, dan titik cair Butana $\pm -0.5^{\circ}\text{C}$). LPG jenis ini umum digunakan untuk pengiriman LPG dalam jumlah besar (misalnya, mengirim LPG dari negara Arab ke Indonesia). Dibutuhkan tanki penyimpanan khusus yang harus didinginkan agar LPG tetap dapat berbentuk cair serta dibutuhkan proses khusus untuk mengubah LPG Refrigerated menjadi LPG *Pressurized*.

LPG yang dipasarkan Pertamina dalam kemasan tabung dan curah adalah LPG *Pressurized*. Data karakteristik LPG dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.4 Data karakteristik LPG PERTAMINA

Karakteristik	
Jenis LPG	Mix (propane dan butane)
Komposisi	
- Propane (%)	30% (C₃H₈)
- Butana (%)	70% (C₄H₁₀)
Pemasaran kemasan tabung	3 kg, 6kg, 12kg, 50kg
Bau	- LPG odourless (tidak berbau) - LPG penambahan bau Zat mercaptan (bau dapat dideteksi)
Pencairan tabung	Pressurized
Nilai Kalor	11254,61 kkal/kg

Bilangan Oktan : - RON	98
- MON	88 (ASTM D2598 dan EN 598 Annex B)

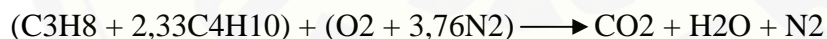
Sifat umum LPG Pertamina adalah:

- Tekanan gas LPG cukup besar, bila bocor segera membentuk gas, memuai dan mudah terbakar.
- LPG menghambur secara perlahan sehingga sukar mengetahuinya secara dini.
- Berat jenis LPG lebih besar daripada udara sehingga cenderung bergerak ke bawah.
- LPG tidak mengandung racun.

2.8 Stoikiometri

Stoikiometri adalah ilmu yang mempelajari dan menghitung hubungan kuantitatif dari reaktan dan produk dalam reaksi kimia (persamaan kimia). Stoikiometri gas adalah bentuk khusus, di mana reaktan dan produknya seluruhnya berupa gas. Dalam kasus ini, koefisien zat (yang menyatakan perbandingan mol dalam stoikiometri reaksi) juga sekaligus menyatakan perbandingan volume antara zat-zat yang terlibat.

Persamaan Pembakaran teoritis antara LPG dan udara adalah sebagai berikut:



Angka 2,33 adalah harga perbandingan komposisi antara Butana dan Propana, sedangkan 3,76 adalah harga perbandingan komposisi antara Nitrogen dan Oksigen.

Berdasarkan kesetimbangan reaksi, maka persamaan pembakarannya menjadi:



Perbandingan udara bahan bakar atau AFR (*Air Fuel Ratio*) Stoikiometri didapatkan sebagai berikut:

$$AFR = \frac{m \text{ u}}{m \text{ L}} \times \frac{M \text{ u}}{M \text{ L}}$$

Mr adalah massa atom relatif, yang mana didapat dari jumlah seluruh massa tiap atom (Ma). Maka:

$$\begin{aligned} \text{Mr udara} &= 21\% \times \text{MaO}_2 + 79\% \times \text{MaN}_2 \\ &= 21\% \times 16 \times 2 + 79\% \times 14 \times 2 \\ &= 28,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mr LPG} &= 30\% \times (\text{MaC}_3 + \text{MaH}_8) + 70\% \times (\text{MaC}_4 + \text{MaH}_{10}) \\ &= 30\% \times (12 \times 3 + 8) + 70\% \times (12 \times 4 + 10) \\ &= 53,8 \end{aligned}$$

Maka, AFR stoikiometrinya:

$$\begin{aligned} AFR &= \frac{2,1 \times (1+3,7)}{1+2,3} \times \frac{2,8}{5,8} \\ &= \frac{9,8 \times 2,8}{3,3 \times 5,8} \\ &= 15,44 \text{ kg udara/kg LPG} \end{aligned}$$

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penggunaan penambahan LPG sebagai bahan bakar untuk mengurangi konsentrasi polutan (gas tercemar) pada kendaraan bermotor telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya :

- Achmad Hadi Kurniawan (2011), penggunaan LPG sebagai suplemen bahan bakar terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah dengan variasi sudut pengapian 35° , 36° , 37° dan 38° BTDC dengan debit LPG 250, 500 dan 750 ml/menit. Hasil penelitian menunjukkan torsi rata-rata tertinggi bahan bakar premium dengan sudut pengapian 36° BTDC pada gigi 4 (empat) adalah 8.78 N.m pada putaran mesin 4000 rpm. Untuk torsi rata-rata tertinggi campuran terletak pada campuran LPG 500 dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) adalah 8.95 N.m pada putaran mesin 3500 rpm. Sedangkan untuk daya rata-rata tertinggi bahan bakar premium dengan sudut pengapian 37°

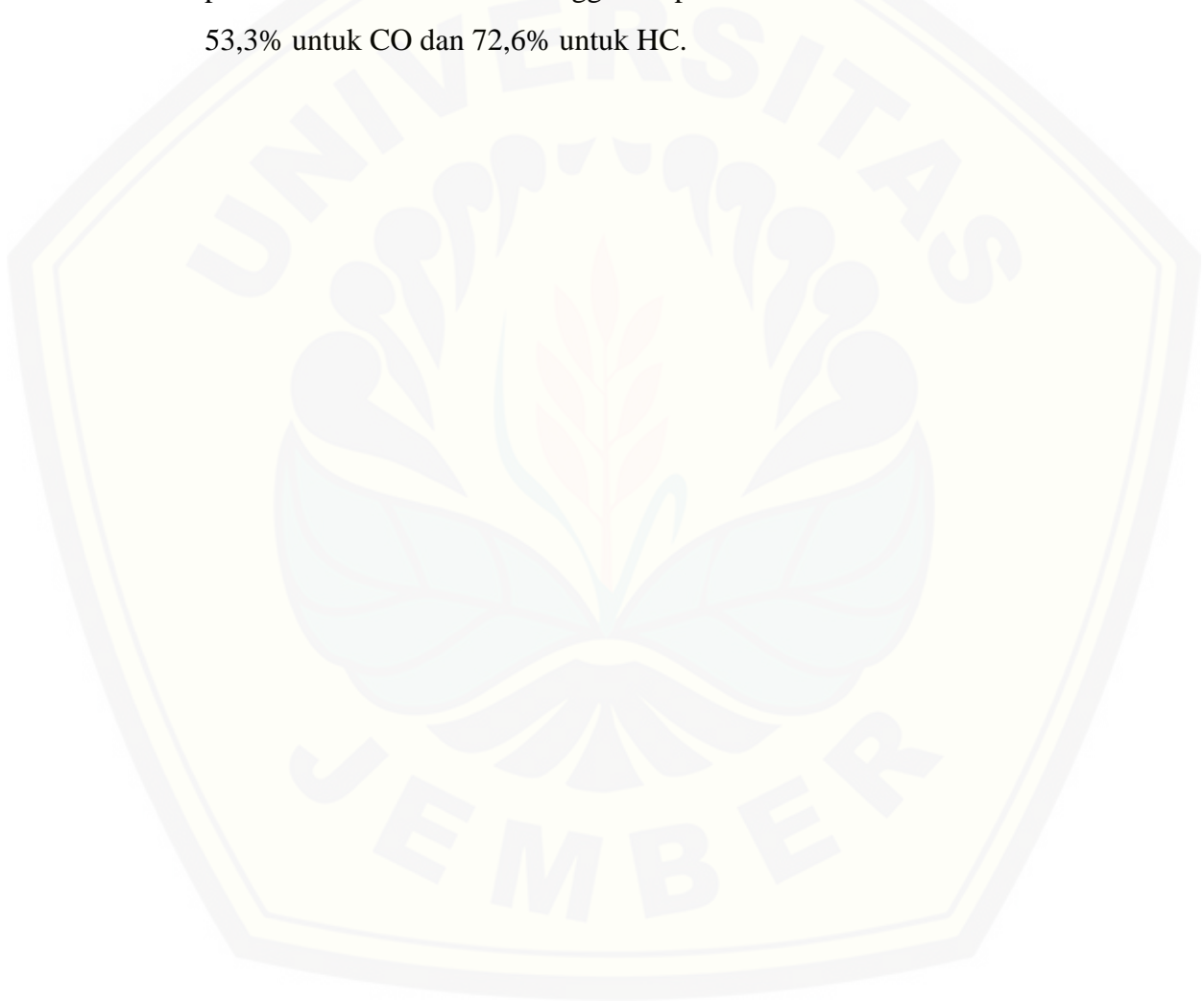
BTDC pada gigi 3 (tiga) sebesar 7.83 HP pada putaran mesin 7250 rpm. Untuk daya rata-rata tertinggi campuran terletak pada campuran LPG 500 dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) sebesar 8.13 HP pada putaran mesin 7250 rpm.

- Ma'mun (2010), penggunaan LPG sebagai suplemen bahan bakar terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah dengan variasi debit LPG 100 ml/menit, 200 ml/menit, 300 ml/menit, 400 ml/menit dan 500 ml/menit. Hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi termis untuk premium sebesar 49,36% pada putaran 4000 rpm, sedangkan efisiensi termis tertinggi terletak pada suplemen LPG 200 ml/menit sebesar 61,27%, pada putaran mesin 4000 rpm.
- M. Gumus (2011), penggunaan *Dual Fuel* (dua bahan bakar) bensin dan LPG terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah dengan variasi LPG 25%, 50%, 75% dan 100% dibandingkan dengan bensin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) terendah didapatkan pada variasi LPG 25% dengan penurunan sebesar 7,1%, sedangkan BSFC tertinggi didapatkan pada variasi LPG 50% dengan kenaikan sebesar 7,3%. Kadar karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) mengalami penurunan setiap penambahan konsentrasi LPG yaitu penurunan sebesar 26,2%, 26,8%, 40,7% dan 53,3% untuk CO dan 27,7%, 41,4%, 53,1% dan 72,6% untuk HC.

2.8 Hipotesis

- Dari beberapa jurnal diatas maka dapat disimpulkan bahwa penambahan campuran LPG-udara akan dapat meningkatkan efisiensi unjuk kerja (*performance*) motor bensin yaitu peningkatan torsi, daya efektif, *fuel consumption* dan menurunnya kadar emisi gas buang. Seperti pada hasil pengujian Ahmad Hadi Kurniawan (2011), torsi rata-rata tertinggi terletak pada campuran LPG 500 ml/menit dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) yaitu sebesar 8,95 N.m. pada putaran mesin 3500 rpm dan daya

efektif sebesar 8.13 HP pada putaran mesin 7250 rpm. Hasil pengujian Ma'mun (2010), efisiensi termis tertinggi terletak pada suplemen LPG 200 ml/menit sebesar 61,27%, pada putaran mesin 4000 rpm. Hasil pengujian Gumus (2011), *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) tertinggi didapatkan pada variasi LPG 50% dengan kenaikan sebesar 7,3% dan penurunan CO dan HC tertinggi didapatkan oleh variasi LPG 100% sebesar 53,3% untuk CO dan 72,6% untuk HC.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *experimental*, yaitu dengan melakukan uji unjuk kerja kendaraan bermotor tanpa penambahan campuran LPG-udara dan menggunakan penambahan campuran LPG-udara dengan variasi debit LPG 10, 20, dan 30 ml/menit dan variasi debit udara 155 ml/menit, 310 ml/menit dan 465 ml/menit. Untuk mempermudah penyebutan variasi, maka pada campuran LPG 10 ml/menit dan udara 155 ml/menit hanya disebutkan LPG-udara 10ml/menit, campuran LPG 20 ml/menit dan udara 310 ml/menit hanya disebutkan LPG-udara 20 ml/menit, campuran LPG 30 ml/menit dan udara 465 ml/menit hanya disebutkan LPG-udara 30 ml/menit.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai selesai. Penelitian ini akan dilakukan rencana kerja yang telah disusun diantaranya adalah:

1. Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Dinas Perhubungan Kabupaten Jember.
3. Dealer Yamaha Surya Inti Putra Kebonsari Jember

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. Mesin Uji Mesin Honda Absolute Revo 110 cc tahun 2010
 1. Motor Bensin 4-Langkah dengan spesifikasi sebagai berikut;
 - Tipe mesin : 1 silinder, 4 Langkah SOHC
 - Diameter x langkah : 50 x 55,6 mm

- Volume langkah : 109,1 cm³
 - Perbandingan kompresi : 9,0 : 1
 - Daya maksimum : 8,46 PS/7.500rpm
 - Torsi maksimum : 0,86 kg-m / 5.500 rpm
 - Kapasitas Oli mesin : 0,8 liter
 - Sistem penggerak : Kopling basah
 - Gigi transmisi : 4 kecepatan, bertautan tetap
 - Starter : Pedal kick starter & Starter listrik
 - Aki : NF Battery, 12 V – 3,5 Ah
 - Busi : NGK : C6HSA, C7HSA (standard)
 - Sistem pengapian : Pengapian CDI (tanpa platina)
- b. Tabung gas
- c. Regulator
- d. Selang LPG
- e. Kompresor
- f. *Mixer* LPG-udara
- g. Selang pneumatik
- h. Nepel selang pneumatik
- i. Pilot jet
- j. *Motor Cycle Dinamometer* dengan spesifikasi sebagai berikut;
- Merk Mesin : *Rextor Sportdyno*
 - Type : *Motor Cycle SP1/SP3 V3.3*
 - Perlengkapan Pendukung:
 - Terminal sensor *Dyno Test*
 - Sensor kecepatan putaran mesin
 - Sensor kecepatan putaran roller dynamometer

k. *Flowmeter* LPG

- Merk *flowmeter* LPG: KOFLOC
- Type : Rotameter

l. *Flowmeter* udara

- Merk *flowmeter* udara: KOFLOC
- Type : Rotameter



Gambar 3.1 *Flowmeter* LPG dan *Flowmeter* Udara merek KOFLOC

m. *Exhaust gas analyzer*

Untuk mengukur dan menguji emisi gas buang Carbon Monoksida pada penelitian ini peneliti akan menyiapkan dan menggunakan *Gas Analyzer* Texa Gasbox Autopower.



Gambar 3.2 Texa Gasbox Autopower (*Gas Analyzer*)

- n. Alat pengukur putaran mesin (Tachometer)
- o. Stop Watch
- p. Blower
- q. Buret

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Bensin premium
- b. LPG

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian, variabel bebas yang digunakan adalah variasi debit campuran LPG-udara.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

1. Kadar konsentrasi polutan gas karbonmonoksida (CO)
2. Kadar konsentrasi polutan gas hidrokarbon (HC)
3. Torsi
4. Daya efektif
5. Konsumsi bahan bakar bensin/premium

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang diupayakan untuk dinetralisasi oleh sang peneliti dalam penelitiannya tersebut. Variabel inilah yang menyebabkan hubungan di antara variabel bebas dan juga variabel terikat bisa tetap konstan. Variabel control pada penelitian ini adalah variasi putaran mesin, yaitu 2000 rpm untuk uji kadar emisi gas buang, 2000 rpm hingga 9000 rpm aselerasi pada pengujian *dynotest*, dan 2000 rpm hingga 9000 rpm konstan pada pengujian *fuel consumption*.

3.5 Prosedur Penelitian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.5.1 Tahap Pengujian

1. Pengujian tanpa menggunakan penambahan variasi debit campuran LPG-udara.

Pada pengujian standart tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan pengambilan data

Setelah proses penyusunan peralatan dan motor uji sudah terpasang dengan baik pada *dynotest* maka dilakukan proses pengecekan pada kondisi pemasangan motor dan sensor-sensor alat ukur yang

terhubung pada terminal *dynotest*. Setelah semua terpasang dengan baik, atur posisi *blower* sebagai pendingin mesin.

b. Tahap pengambilan data

Tahapan proses pengambilan data dapat diperinci sebagai berikut:

- 1) Menghidupkan mesin;
- 2) Memulai pengambilan data oleh *dynotest* dengan range putaran 2000 – 9000 rpm pada posisi gigi 4. Pengambilan dilakukan dengan membuka throttle mulai 2000 rpm dan selanjutnya setelah mencapai putaran 9000 rpm pengambilan data selesai;
- 3) Menghentikan mesin motor sampai keadaan mesin dingin;
- 4) Untuk menguji konsumsi bahan bakar dilakukan dengan mengisi buret dengan bahan bakar premium sebanyak 25ml. Pengambilan dilakukan dengan putaran mesin konstan yaitu 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, 5000 rpm, 6000 rpm, 7000 rpm, 8000 rpm dan 9000 rpm pada posisi gigi netral. Pengujian dilakukan dengan konsumsi bahan bakar tiap tahap putaran sebesar 25 ml dan catat waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut;
- 5) Untuk pengujian emisi gas buang dilakukan dengan memasang alat *gas analyzer* pada lubang knalpot.
- 6) Mengulangi langkah 1 s.d 6.

c. Akhir pengambilan data

Setelah proses pengujian atau pengambilan data selesai langkah selanjutnya adalah:

- 1) Mematikan semua alat elektronik yang digunakan selama pengujian;

- 2) Melepaskan semua sensor – sensor serta perlengkapan lainnya dari mesin uji;
 - 3) Menurunkan kendaraan uji dan memeriksa seluruh keadaan mesin uji.
2. Pengujian menggunakan variasi debit campuran LPG-udara.

Pada pengujian standart tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Tahap persiapan pengambilan data

Setelah proses penyusunan peralatan dan motor uji sudah terpasang dengan baik pada *dynotest* maka dilakukan proses pengecekan pada kondisi pemasangan motor, pengecekan terhadap alat ukur flowmeter, tekanan kompresor, tekanan tabung LPG dan sensor-sensor alat ukur yang terhubung pada terminal *dynotest*. Setelah semua terpasang dengan baik, atur posisi *blower* sebagai pendingin mesin.

b. Tahap pengambilan data

Tahapan proses pengambilan data dapat diperinci sebagai berikut:

- 1) Mengatur debit LPG-udara pada flowmeter
- 2) Menghidupkan mesin;
- 3) Memulai pengambilan data oleh *dynotest* dengan range putaran 2000 – 9000 rpm pada posisi gigi 4. Pengambilan dilakukan dengan membuka throttle mulai 2000 rpm dan selanjutnya setelah mencapai putaran 9000 rpm pengambilan data selesai;
- 4) Menutup katup *flowmeter* LPG-udara dan menghentikan mesin motor sampai keadaan mesin dingin;
- 5) Untuk menguji konsumsi bahan bakar dilakukan dengan mengisi buret dengan bahan bakar premium sebanyak 25ml. Mengatur debit LPG-udara pada flowmeter. Pengambilan dilakukan dengan putaran mesin konstan yaitu 2000 rpm, 3000

rpm, 4000 rpm, 5000 rpm, 6000 rpm, 7000 rpm, 8000 rpm dan 9000 rpm pada posisi gigi netral. Pengujian dilakukan dengan konsumsi bahan bakar tiap tahap putaran sebesar 25 ml dan catat waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut;

- 6) Untuk pengujian emisi gas buang dilakukan dengan memasang alat *gas analyzer* pada lubang knalpot.
- 7) Mengulangi langkah 1 s.d 6 dengan variasi penambahan campuran LPG-udara.

c. Akhir pengambilan data

Setelah proses pengujian atau pengambilan data selesai langkah selanjutnya adalah:

- 1) Menutup katup pada *flowmeter* LPG, *flowmeter* udara, kompresor, dan tabung LPG;
- 2) Mematikan semua alat elektronik yang digunakan selama pengujian;
- 3) Melepaskan semua sensor – sensor serta perlengkapan lainnya dari mesin uji;
- 4) Menurunkan kendaraan uji dan memeriksa seluruh keadaan mesin uji.

3.5.2 Tahap Tabulasi Data

Agar pengujian valid maka dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Setelah pengujian selesai, data yang terkumpul dimasukkan ke dalam tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, 3.2, 3.3 dan 3.4 berikut ini:

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Torsi rata-rata

Putaran mesin	Standart	Torsi rata-rata (N.m)		
		LPG-Udara 10 ml/menit	LPG-Udara 20 ml/menit	LPG-Udara 30 ml/menit
2000				
3000				
4000				
5000				
6000				
7000				
8000				
9000				

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Daya Rata-rata

Putaran mesin	Standart	Daya rata-rata (HP)		
		LPG-Udara 10 ml/menit	LPG-Udara 20 ml/menit	LPG-Udara 30 ml/menit
2000				
3000				
4000				
5000				
6000				
7000				
8000				
9000				

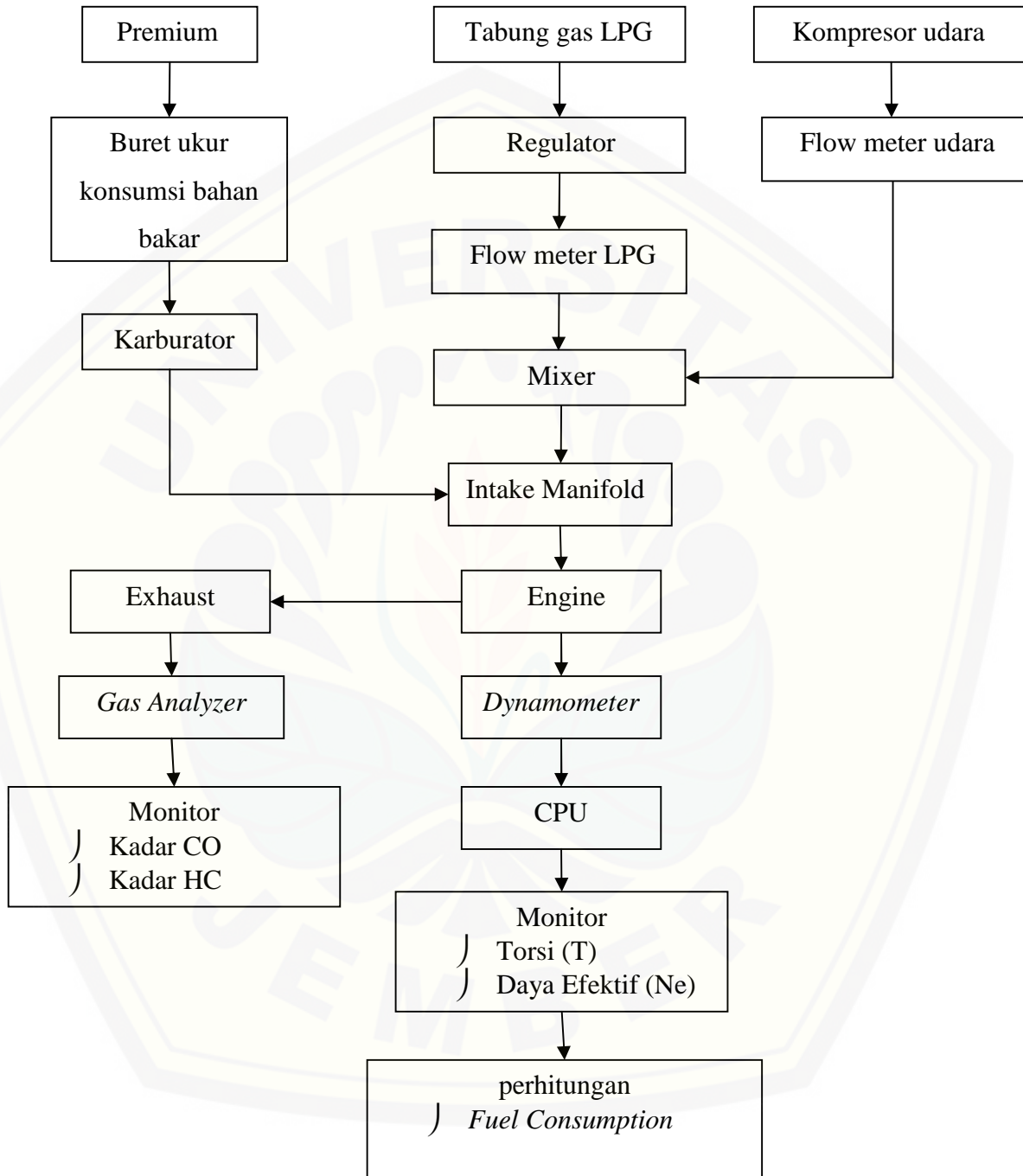
Tabel 3.3 Hasil Pengujian *Fuel Consumption* Rata-rata

Putaran mesin	Standart	<i>Fuel Consumption</i> (Kg/jam)		
		LPG-Udara 10 ml/menit	LPG-Udara 20 ml/menit	LPG-Udara 30 ml/menit
2000				
3000				
4000				
5000				
6000				
7000				
8000				
9000				

Tabel 3.4 Hasil Pengujian Kadar Emisi Gas Buang Rata-rata

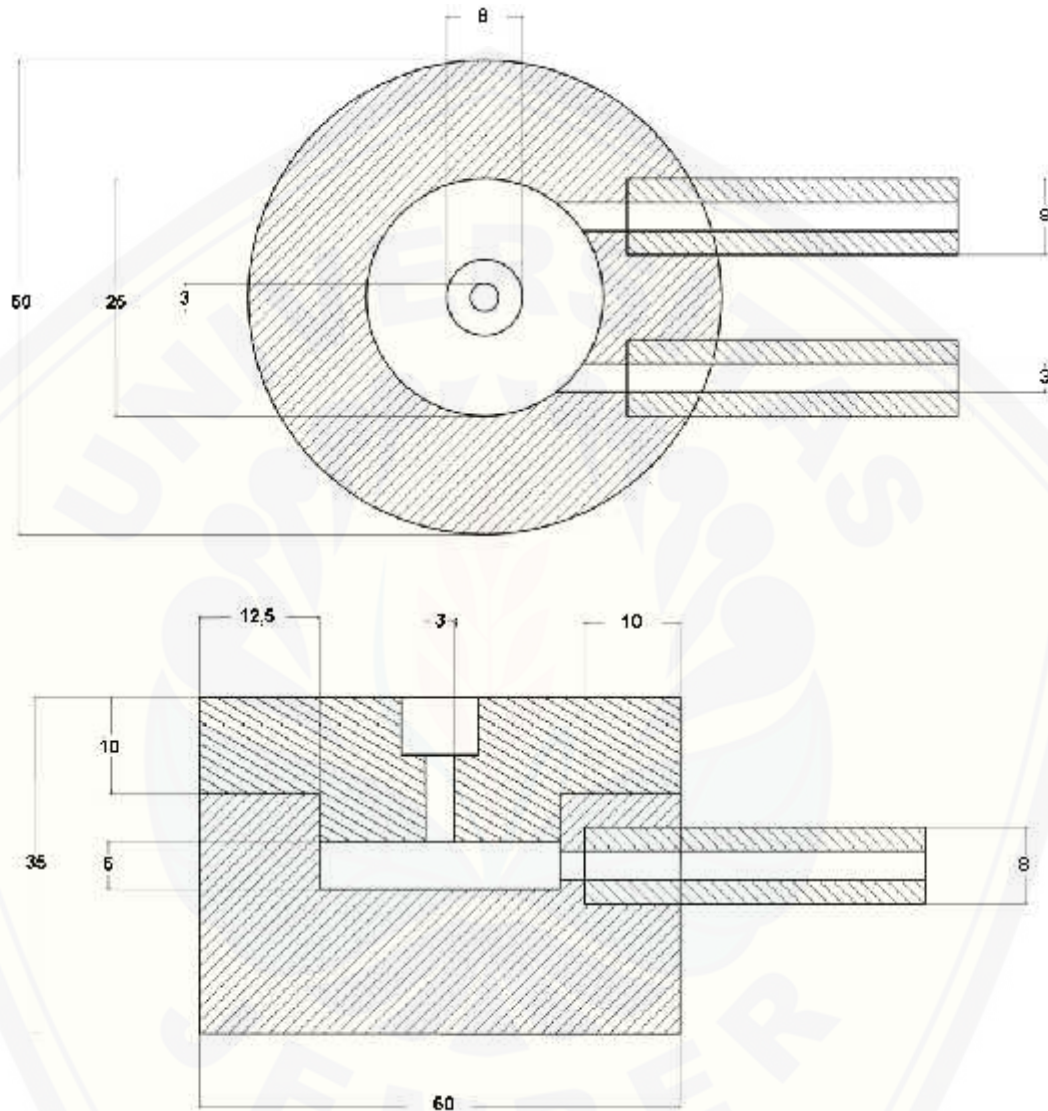
Variasi	Karbon Monoksida (%)	Hidrokarbon (ppm)
Standart		
LPG-Udara 10 ml/menit		
LPG-Udara 20 ml/menit		
LPG-Udara 30 ml/menit		

3.6 Skema Alat Uji



Gambar 3.3 Skema Alat Uji

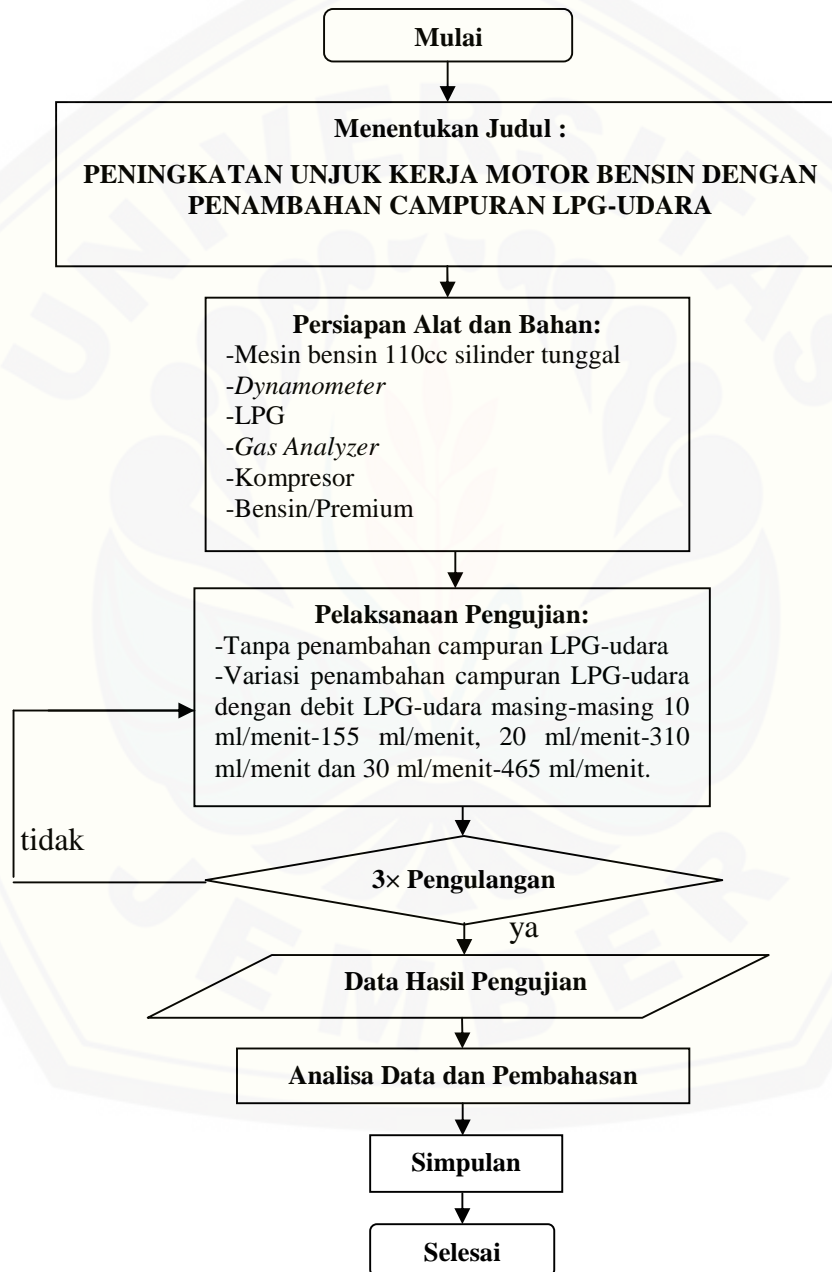
3.7 Desain Pencampur LPG dan Udara



Gambar 3.4 Desain Pencampur (*mixer*) LPG dan Udara

3.8 Diagram alir penelitian

Tahap – tahap penelitian yang akan dilakukan ini dapat disederhanakan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) seperti yang terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.5 Bagan alir metode penelitian

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian Peningkatan Unjuk Kerja Motor Bensin Dengan Penambahan Campuran LPG-Udara dapat disimpulkan bahwa:

1. Torsi maksimum tertinggi dicapai oleh variasi LPG-udara 20 ml/menit dengan nilai torsi sebesar 6,32 N.m dicapai pada putaran mesin 5000 rpm atau meningkat 8,28% dibandingkan dengan kondisi mesin standart.
2. Daya efektif maksimum tertinggi dicapai oleh variasi LPG-udara 20 ml/menit dengan nilai daya efektif sebesar 5,73 HP dicapai pada putaran mesin 7000 rpm atau meningkat 8,73% dibandingkan dengan kondisi mesin standart.
3. *Fuel Consumption* (FC) rata-rata terendah dicapai oleh variasi LPG-udara 30 ml/menit dengan nilai FC rata-rata sebesar 0,68 kg/jam atau lebih irit 5,9% dibandingkan dengan kondisi mesin standart.
4. Penurunan kadar emisi gas buang terbaik dicapai oleh variasi LPG-udara 30 ml/menit dengan kadar karbon monoksida (CO) sebesar 0,24% dan hidrokarbon (HC) sebesar 763 ppm, atau penurunan CO sebesar 22,58% dan HC sebesar 9,17% dibandingkan dengan kondisi standart.

5.2 Saran

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Penambahan debit campuran LPG dan udara yang stoikiometris agar mengetahui dampaknya campuran tersebut terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah.
2. Pengkalibrasian pengatur debit (*Flowmeter*) agar didapatkan debit yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. (1994) *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Penerbit ITB, Bandung.
- Beccari, S. (2015) *Knock Onset Prediction of Propane, Gasoline and Their Mixtures in Spark Ignition Engines*. University of Palermo, Italy.
- Boedisantoso, R. (2002) *Teknologi Pengendalian Pencemaran Udara*. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya.
- Ganessan, V. (2003) *Internal Combustion Engine Second Edition*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, India.
- Gumus, M. (2011) *Effect of Volumetric Efficiency on The Performance and Emissions Characteristics of a Dual Fueled (Gasoline and LPG) Spark Ignition Engine*. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul, Turkey.
- Heisler, H & Arnold, E. (1995) *Advanced Engine Technology*. Hodder Headline PLC, London.
- Heywood, J. B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamental*. Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Kai, J. Morganti (2014) *The Autoignition of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in Spark-Ignition Engines*. Department of Mechanical Engineering, The University of Melbourne, Victoria, Australia.
- Kristanto, P. (2005) *Emisi Sarana Angkutan Perkotaan, Kualitas Udara dan Kesehatan Masyarakat – Seminar Automotive Trend and Globalization Technology in Era 21st Century*. Jurusan Teknik Mesin UK Petra, Surabaya.
- Kurniawan, A. H. (2011) *Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah dengan Variasi Sudut Pengapian*. Jurusan Teknik Mesin UNEJ, Jember.

- Ma'mun, M. Rosyid. (2010) *Analisa Pengaruh Penambahan LPG sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah*. Jurusan Teknik Mesin UNEJ, Jember.
- Nevers, N. D. (1995) *Air Pollution Control Engineering*. Mc Graw-Hill Inc., USA.
- Obert, E. F. (1973) *Internal Combustion Engines and Air Pollution*. Harper & Row Publisher Inc., New York.
- Soenarta, N. (1985) *Motor Serba Guna*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sulaiman, M. Y. (2013) *Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled by LPG*. Mechanical Engineering Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malaysia.

LAMPIRAN

A. Torsi dan Daya Efektif Terhadap Putaran Mesin

A.1 Torsi (T) pada Kondisi Mesin Standart dan Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit, 20 ml/menit dan 30 ml/menit pada Percobaan 1, 2 dan 3

Tabel A.1 Torsi pada Kondisi Mesin Standart

Putaran mesin	Torsi (N.m)		
	1	2	3
2000	5.84	6.09	6.14
2500	5.87	6.11	6.22
3000	6.16	6.35	6.45
3500	5.21	5.42	5.41
4000	5.34	5.49	5.60
4500	5.47	5.60	5.63
5000	5.63	5.89	5.99
5500	5.74	5.87	5.81
6000	5.56	5.63	5.67
6500	5.21	5.51	5.51
7000	4.93	4.99	5.30
7500	4.37	4.57	4.76
8000	3.81	4.04	4.29
8500	3.33	3.61	3.76
9000	2.73	3.11	3.16

Tabel A.2 Torsi pada Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit

Putaran mesin	Torsi (N.m)		
	1	2	3
2000	6.19	6.23	6.08
2500	6.28	6.30	6.31
3000	6.51	6.51	6.58
3500	5.62	5.50	5.64
4000	5.70	5.89	5.79
4500	5.99	6.01	5.92
5000	6.16	6.34	6.31

5500	6.25	6.03	6.24
6000	6.01	6.02	5.99
6500	5.90	5.77	5.80
7000	5.37	5.48	5.57
7500	4.99	4.91	4.94
8000	4.38	4.46	4.60
8500	3.87	3.92	4.05
9000	3.41	3.50	3.43

Tabel A.3 Torsi pada Penambahan Campuran LPG-Udara 20 ml/menit

Putaran mesin	Torsi (N.m)		
	1	2	3
2000	6.21	6.41	6.42
2500	6.29	6.43	6.50
3000	6.54	6.59	6.81
3500	5.89	5.61	5.83
4000	6.24	5.84	5.76
4500	6.33	5.95	6.11
5000	6.45	6.30	6.22
5500	6.21	6.14	6.38
6000	5.97	6.00	6.17
6500	5.75	5.87	6.00
7000	5.56	5.60	5.68
7500	4.89	4.96	5.19
8000	4.58	4.55	4.79
8500	4.37	4.07	4.18
9000	3.82	3.70	3.81

Tabel A.4 Torsi pada Penambahan Campuran LPG-Udara 30 ml/menit

Putaran mesin	Torsi (N.m)		
	1	2	3
2000	6.24	6.12	6.11
2500	6.26	6.39	6.26
3000	6.49	6.65	6.59
3500	5.48	5.69	6.79

4000	5.70	5.86	5.89
4500	5.93	6.00	5.98
5000	6.19	6.31	6.43
5500	6.04	6.20	6.35
6000	5.94	6.04	6.12
6500	5.72	5.80	5.93
7000	5.52	5.51	5.63
7500	4.91	4.99	5.14
8000	4.56	4.58	4.71
8500	4.00	4.04	4.26
9000	3.42	3.65	3.69

A.2 Daya Efektif (Ne) pada Kondisi Mesin Standart dan Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit, 20 ml/menit dan 30 ml/menit.

Tabel A.5 Daya Efektif pada Kondisi Mesin Standart

Putaran mesin	Daya Efektif (HP)		
	1	2	3
2000	1.8	1.9	1.9
2500	2.2	2.3	2.3
3000	2.5	2.6	2.6
3500	2.7	2.8	2.8
4000	3.1	3.2	3.3
4500	3.6	3.7	3.7
5000	4.1	4.3	4.4
5500	4.6	4.7	4.7
6000	4.8	4.9	5.0
6500	4.9	5.2	5.2
7000	5.1	5.3	5.4
7500	4.7	4.9	5.1
8000	4.4	4.6	4.9
8500	4.1	4.4	4.6
9000	3.5	4.0	4.1

Tabel A.6 Daya Efektif pada Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit

Putaran mesin	Daya Efektif (HP)		
	1	2	3
2000	1.9	1.9	1.9
2500	2.4	2.4	2.4
3000	2.7	2.7	2.8
3500	2.9	2.8	2.9
4000	3.3	3.5	3.4
4500	4.0	4.0	3.9
5000	4.5	4.6	4.6
5500	5.0	4.8	5.0
6000	5.2	5.2	5.2
6500	5.6	5.4	5.5
7000	5.6	5.7	5.7
7500	5.4	5.3	5.3
8000	5.0	5.1	5.3
8500	4.7	4.8	4.9
9000	4.4	4.5	4.4

Tabel A.7 Daya Efektif pada Penambahan Campuran LPG-Udara 20 ml/menit

Putaran mesin	Daya Efektif (HP)		
	1	2	3
2000	1.9	2.0	2.0
2500	2.4	2.4	2.5
3000	2.7	2.7	2.8
3500	3.0	2.9	3.0
4000	3.7	3.4	3.4
4500	4.2	3.9	4.0
5000	4.7	4.6	4.5
5500	5.0	4.9	5.1
6000	5.2	5.2	5.4
6500	5.4	5.5	5.7
7000	5.7	5.7	5.8
7500	5.3	5.4	5.6
8000	5.3	5.2	5.5
8500	5.3	5.0	5.1

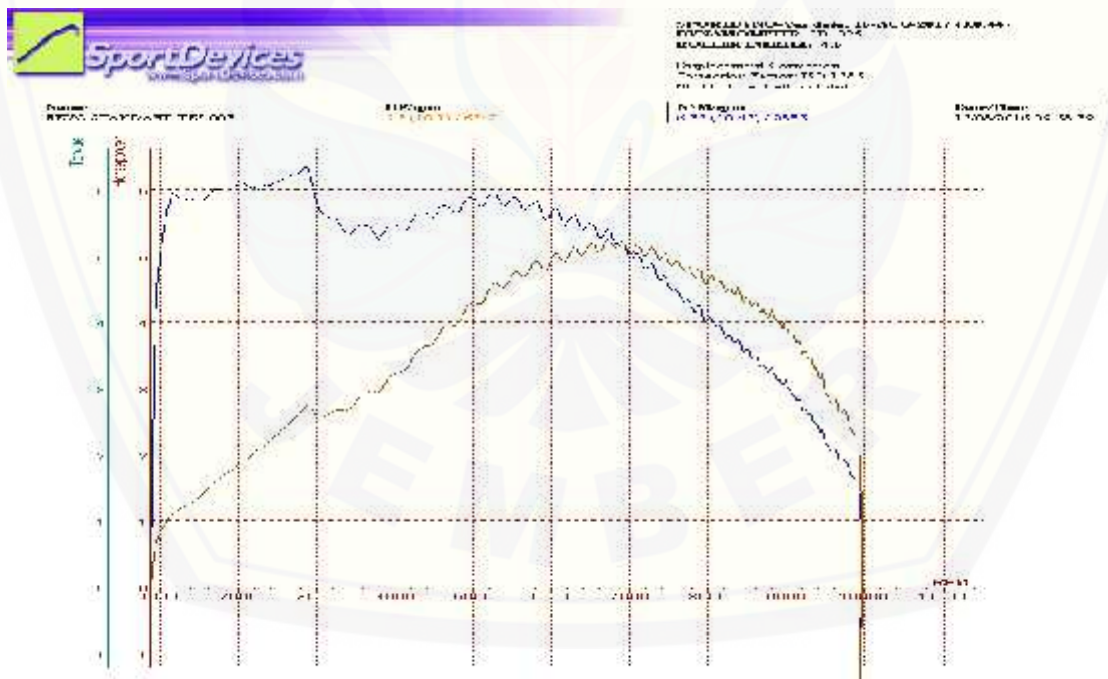
9000	4.9	4.8	4.9
------	-----	-----	-----

Tabel A.8 Daya Efektif pada Penambahan Campuran LPG-Udara 30 ml/menit

Putaran mesin	Daya Efektif (HP)		
	1	2	3
2000	1.9	1.9	1.9
2500	2.4	2.4	2.4
3000	2.7	2.8	2.9
3500	2.8	2.9	3.0
4000	3.4	3.4	3.5
4500	3.9	4.0	3.9
5000	4.5	4.6	4.7
5500	4.8	5.0	5.1
6000	5.2	5.3	5.3
6500	5.4	5.5	5.6
7000	5.6	5.7	5.8
7500	5.3	5.4	5.6
8000	5.3	5.3	5.4
8500	4.9	4.9	5.2
9000	4.4	4.7	4.8



Gambar A.1 Grafik Torsi dan Daya Efektif Kondisi Mesin Standart pada Percobaan 1



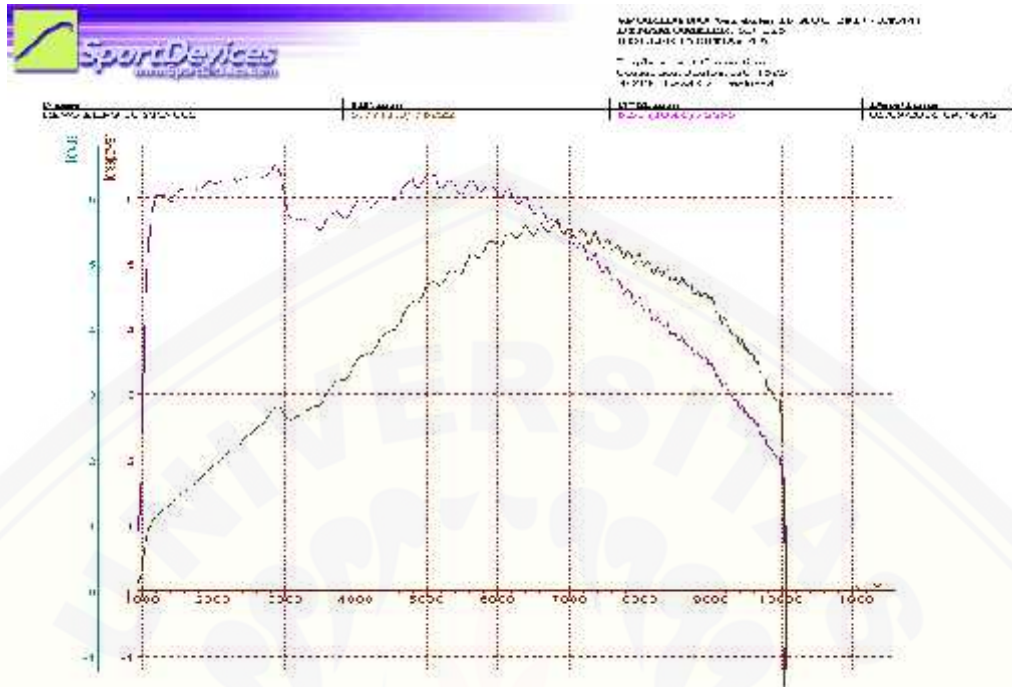
Gambar A.2 Grafik Torsi dan Daya Efektif Kondisi Mesin Standart pada Percobaan 2



Gambar A.3 Grafik Torsi dan Daya Efektif Kondisi Mesin Standart pada Percobaan 3



Gambar A.4 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 10 ml/menit Percobaan 1



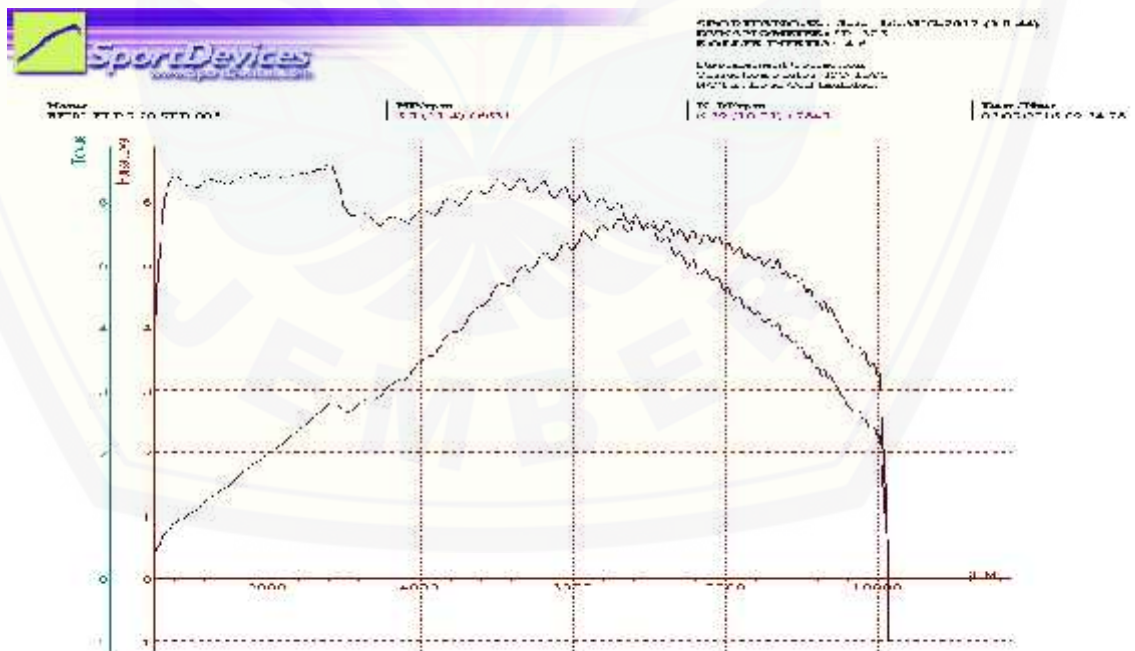
Gambar A.4 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 10 ml/menit Percobaan 2



Gambar A.5 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 10 ml/menit Percobaan 3



Gambar A.7 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 20 ml/menit Percobaan 1



Gambar A.8 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 20 ml/menit Percobaan 2



Gambar A.9 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 20 ml/menit Percobaan 3



Gambar A.10 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 30 ml/menit Percobaan 1



Gambar A.11 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 30 ml/menit Percobaan 2



Gambar A.12 Grafik Torsi dan Daya Efektif LPG 30 ml/menit Percobaan 3

B. Hasil Uji Emisi Gas Buang

Tabel B.1 Hasil Uji Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada Kondisi Mesin Standart dan Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit, 20 ml/menit dan 30 ml/menit

Variasi	Kadar CO (%)			Rata-rata	Kadar HC (ppm)			Rata-rata
	1	2	3		1	2	3	
Standart	0,33	0,28	0,32	0,31	849	833	839	840
10 ml/menit	0,29	0,25	0,24	0,26	885	702	850	812
20 ml/menit	0,31	0,23	0,22	0,25	701	802	819	774
30 ml/menit	0,23	0,24	0,24	0,24	801	786	703	763

C. Hasil Pengujian Fuel Consumption

Tabel C.1 Hasil Pengujian Fuel Consumption pada Kondisi Mesin Standart

rpm	Kg/jam		
	1	2	3
2000	216.31	210.37	211.46
3000	176.15	181.38	172.23
4000	142.74	135.78	137.26
5000	106.26	103.42	113.92
6000	93.71	92.59	98.75
7000	78.79	76.22	83.75
8000	60.06	66.95	62.81
9000	48.85	43.74	50.03

Tabel C.2 Hasil Pengujian Fuel Consumption pada Penambahan Campuran LPG-Udara 10 ml/menit

rpm	Kg/jam		
	1	2	3
2000	218.21	217.19	215.64
3000	176.87	182.21	178.58
4000	136.89	143.78	144.34
5000	110.27	107.09	114.19
6000	101.32	97.07	98.12
7000	82.72	93.40	78.44
8000	62.81	68.75	64.53
9000	46.31	48.71	51.05

Tabel C.3 Hasil Pengujian Fuel Consumption pada Penambahan Campuran LPG-Udara 20 ml/menit

rpm	Kg/jam		
	1	2	3
2000	213.06	219.45	218.47
3000	175.16	180.76	181.36
4000	147.7	142.83	137.59
5000	112.85	109.13	109.72
6000	104.36	99.38	96.17
7000	79.34	79.42	84.46
8000	65.27	60.97	68.96
9000	48.87	58.95	49.77

Tabel C.4 Hasil Pengujian *Fuel Consumption* pada Penambahan Campuran LPG-Udara 30 ml/menit

rpm	Kg/jam		
	1	2	3
2000	221.73	217.65	218.17
3000	181.67	178.18	184.35
4000	138.62	144.90	147.16
5000	114.91	108.96	115.78
6000	105.38	101.25	98.49
7000	77.36	84.42	85.29
8000	62.02	67.75	68.27
9000	54.18	48.23	53.86

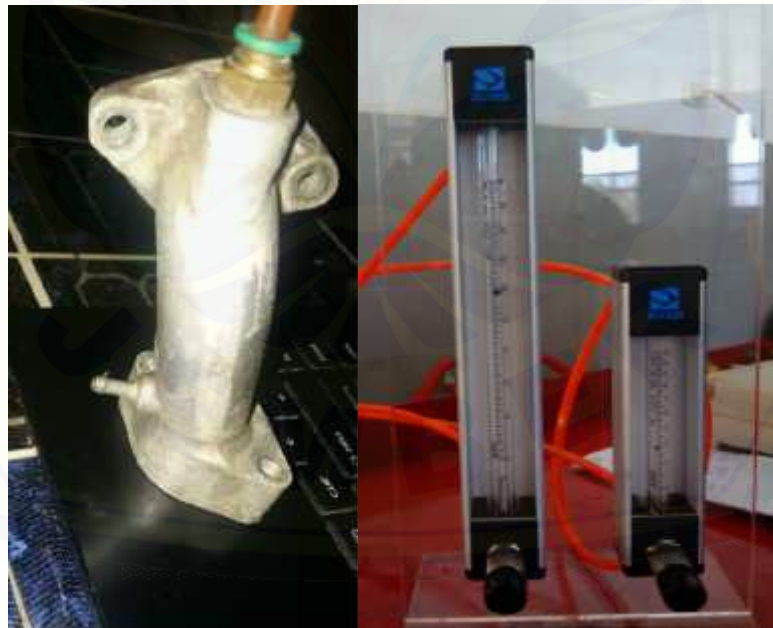
D. Dokumentasi Pengujian



Gambar D.1 Pengujian *Dynotest (Chassis Dynamometer)*



Gambar D.2 Pengujian Kadar Emisi Gas Buang



Gambar D.3 *Intake Manifold* yang Sudah Dimodifikasi (kiri) dan *Flowmeter* LPG-Udara